Ордена Трудового Красного Знамени

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Инв. № 6011

Экз. № 5

(84)

[redacted]

Архив
Опись № 62/168
Связка № 3/10
Порядк. № 4/183.

Эскизный проект
Система радиоконтроля
орбиты объекта и Е-1 ч.

[illegible]

10

1953

6/1513

Инв. 601 сс
Экз. 5

(86)

(84)
Хранить для истории
Д.Ли /28.6.77

(27б)

Исторический архив

научно-историческая ценность!

Не уничтожать.

Хранить в архиве.

[signature]

27/IV-71.

Подтверждаю!

[signature]

17.X 86

Ордена Трудового Красного Знамени

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ № 885

Государственного Комитета Совета Министров СССР
по радиоэлектронике

"УТВЕРЖДАЮ"
Главный конструктор
НИИ-885
(РЯЗАНСКИЙ)
"31" V 1958 г.

[redacted]
Экз. № 5
Инв. № 015749
инв - 6011

ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ
СИСТЕМЫ РАДИОКОНТРОЛЯ ОРБИТЫ ОБЪЕКТА "Е-I"

„E1" = 1-й Советский лунный космический аппарат

Начальник отдела № I4
(БОРИСЕНКО)

Начальник отдела № I5
(БОГУСЛАВСКИЙ)

179

I 9 5 8

Инв. № 015749

ИСПОЛНИТЕЛИ

АППЕЛЬ В.И.

БЕЛОУСОВ А.В.

БОРИСЕНКО М.И.

БОГУСЛАВСКИЙ Е.Я.

ГРИНГАУЗ К.И.

ЗЫКОВ К.К.

ИВАНОВ Н.Е.

ИВАНОВ В.А.

КУЗНЕЦОВ В.С.

ЛАППО В.И.

МАЛАХОВ А.М.

ОЗЕРОВ В.Д.

ПОНОМАРЕВ Д.А.

СЕРГЕЕВ Б.Г.

ТАЛЫЗИН И.Д.

[redacted]

Инв. 015749

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

[redacted]

Стр.

[redacted]

ВВЕДЕНИЕ

Разработка системы радиоконтроля траектории и системы телеметрии для объекта "Е-I" представляет собой исключительно сложную задачу. Определение параметров движения ракеты и передачу информации с нее на Землю необходимо производить на расстояниях, на два порядка превышающих расстояния, для которых до настоящего времени разрабатывались аналогичные системы в реактивной технике и в других смежных областях. Такую сложную проблему можно решить в сравнительно короткие сроки только в сочетании с системой радиоуправления, которая должна обеспечивать, как это показано в эскизном проекте системы радиоуправления объекта "Е-I", в конце активного участка траектории измерение шести параметров движения с точностями, достаточными для решения задачи попадания в Луну.

После выключения двигателя связь по радиолиниям системы управления в течение некоторого времени (5÷10 сек) сохраняется. Это дает возможность продолжать измерение параметров движения объекта в начале пассивного участка. Точность измерения в этом случае может быть повышена за счет увеличения времени усреднения при последующей обработке данных.

Сопоставление данных, полученных до и после выключения двигателя, позволяет учесть импульс последействия двигателя.

Таким образом, с помощью радиосистемы управления представляется возможным измерить параметры движения ракеты в конце ак-

[redacted]

тивного и начале пассивного участков траектории и по этим данным рассчитать уточненную траекторию полета ракеты и предсказать попадание в Луну.

В эскизном проекте системы управления для объекта "Е-I" показано, что радиотехническая система управления может обеспечивать измерение параметров движения в конце активного и начале пассивного участков траектории со следующими точностями:

I. Расстояния между пунктами управления и объектом R с точностью 75 м.

2. Радиальная скорость $\dot{R}$ с точностью I м/сек.

3. Разность расстояний между объектом и пунктами радиоуправления $R_I - R_2$ с точностью 75 м.

4. Разностная скорость $\dot{R}_1 - \dot{R}_2$ с точностью I м/сек.

5. Азимутальный угол α с точностью 6.10^{-4} радиана. ~ 2'

6. Производная азимутального угла $\dot{\alpha}$ с точностью $2,5.10^{-5}$ рад/сек.

Такие точности измерений несколько не соответствуют требованиям, которые оговорены в "Протоколе совещания по согласованию технических требований и предварительных характеристик аппаратуры радиоконтроля изделия "Е" (первый вариант). Однако, как это показано в эскизном проекте системы управления, таких точностей измерений вполне достаточно для того, чтобы обеспечить попадание изделия в Луну и, следовательно, предсказать попадание.

Задачи собственно системы радиоконтроля траектории при таком подходе к решению вопроса сводятся к подтверждению попадания ракеты в Луну, измерению некоторых параметров движения ракеты во время полета для уточнения траектории на пассивном участке и выполнению функций телеметрической системы.

[redacted]

Инв. № 015749

В соответствии с "Протоколом совещания по выбору системы радиоконтроля и телеизмерений объекта "Е-I" система радиоконтроля должна обеспечить на всем видимом участке траектории измерение следующих параметров движения объекта:

I) радиальной дальности Земля - "Е-I" с ошибкой не более 20 ÷ 30 км;

2) радиальной дальности "Е-I" - Луна (при подлете к Луне) с ошибкой не более 20÷30 км ;

3) радиальной скорости удаления объекта от Земли с ошибкой не более 5 м/сек;

4) угловых координат объекта из пункта наблюдения с ошибкой не более IO'.

Кроме того, радиолиния "борт-земля" системы контроля должна обеспечивать передачу с объекта телеметрических сигналов двух видов:

I) на активном участке полета третьей ступени изделия- сигналов от многоканальной быстродействующей телеметрической системы РТС-I2А ;

2) на пассивной части траектории - сигналов от телеметрической системы РТС-I2Б.

[redacted]

Глава I

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ РАДИОКОНТРОЛЯ ОРБИТЫ

Возможность получения какой-либо информации об орбите объекта "Е-I" и передачи информации на Землю с научных приборов, установленных на нем, зависит прежде всего от возможности организации надежной радиосвязи с объектом на различных участках траектории полета Земля -Луна.

Радиосвязь с объектом "Е-I" определяется в основном следующими факторами:

I. Диапазоном радиоволн, пригодным для этой задачи.

2. Энергетическими соотношениями радиолиний.

3. Весами и источниками питания, выделенными на объекте "Е-I" для радиоаппаратуры.

4. Эффективной площадью наземных антенн, которые могут быть созданы в заданные сроки разработки системы.

Рассмотрим кратко каждый из перечисленных факторов.

§ I. Диапазон радиоволн

Выбор диапазона радиоволн определяется, с одной стороны, условиями распространения радиоволн через земную атмосферу, с другой, -техническими возможностями создания эффективной приемно-излучающей антенной системы на объекте "Е-I" и наземных пунктах наблюдения.

Кроме того, следует принимать во внимание весовые и габаритные характеристики бортовой радиоаппаратуры, характерные для того или иного диапазона радиоволн, и номенклатуру имеющихся

[redacted]

или могущих быть созданными в ближайшее время электровакуумных и полупроводниковых приборов.

Определим границы диапазона радиоволн, которые вообще могут быть использованы для радиосвязи с объектом "Е-I".

Нижняя граница радиочастот определяется состоянием главного максимума (слой F) ионосферы. 1958-59 г.г. совпадают с максимумом одиннадцатилетнего периода солнечной деятельности, который, как обычно, сопровождается повышенной ионизацией ионосферы.

В качестве иллюстрации на рис.I.I. приведен годовой ход критических частот слоя F для максимума солнечной деятельности 1936-37 г.г., построенный по данным одной из японских ионосферных станций[I].

Как видно из рис.I.I, в осенне-зимне-весенние дни критические частоты достигали 15 Мгц. Прогнозы на 1958-59 гг. также дают значения $f_{кр\ max} = 15 \div 16$ Мгц.

При связи под малыми углами места частоты отражающих радиоволн растут по закону косинуса

$$f = \frac{f_{кр}}{\cos\varphi},$$

где

$f_{кр}$ - максимальная частота волны, отражающейся при нормальном падении на слой F,

φ - угол между нормалью к слою и направлением связи

$$\cos\varphi \approx \sqrt{1 - \left(\frac{R_з}{R_з + h_F}\right)^2} = 0,29$$

$R_з$ = 6370 км - радиус Земли.

$h_F \approx$ 300 км - средняя высота максимума слоя F.

[redacted]

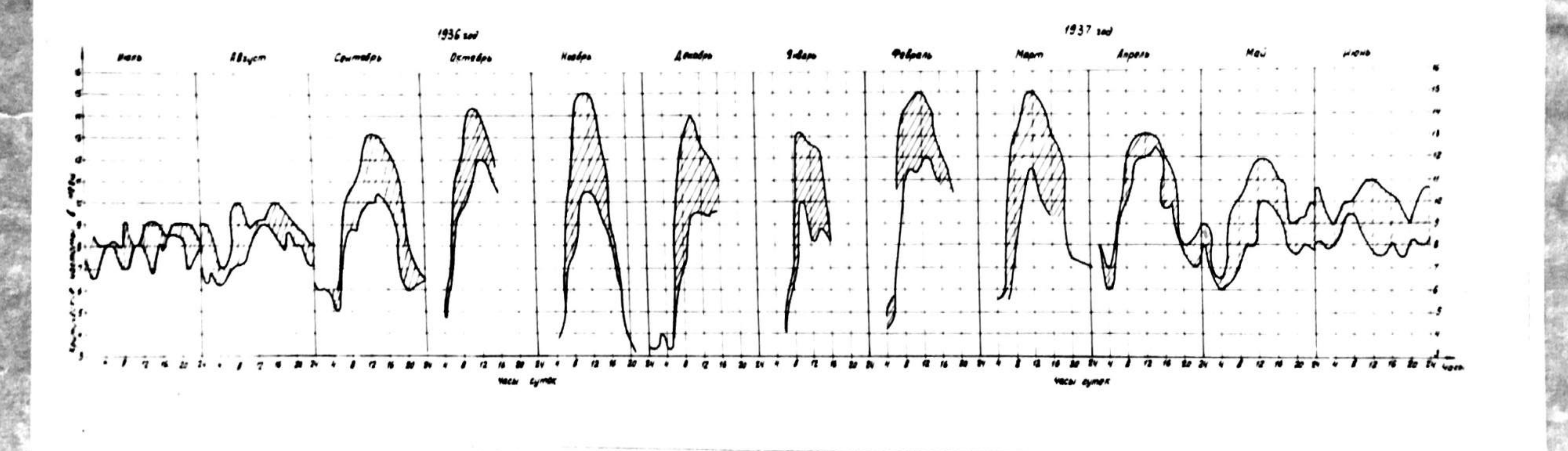

1936 год
1937 год
Июль
Август
Сентябрь
Октябрь
Ноябрь
Декабрь
Январь
Февраль
Март
Апрель
Май
Июнь
часы суток
часы суток

Рис. I.1

Таким образом, нижняя граница пригодных для связи с объектом "Е-I" частот определяется неравенством

$$f_{н} \geqslant \frac{f_{кр}}{0{,}29}$$

$$f_{н} \geqslant 60 \text{ Мгц} \quad (\lambda < 5 м) .$$

Верхняя граница частот радиолиний определяется в данной задаче возможностью создания на объекте антенных устройств, обладающих требуемыми характеристиками.

Так как объект "Е-I" не стабилизирован в пространстве, то антенны должны иметь всенаправленное излучение. При линейных размерах объекта, значительно превышающих четверть длины волны антенной системы, создание антенн без глубоких провалов в диаграммах практически невозможно.

В частности, как показали предварительные эксперименты, проведенные в ОКБ-I на сферическом контейнере "Е-I" диаметром 0,85 м, нежелательно использовать радиоволны короче I,5 м, при которых провалы в диаграммах уже достигают 8÷IO дб.

Таким образом, для радиосвязи с объектом "Е-I" пригодным является диапазон радиочастот 200 Мгц > f > 60 Мгц.

При выборе конкретных номиналов радиочастот следует учитывать еще два обстоятельства.

Во-первых, следует иметь в виду, что ионосферные ошибки измерения параметров орбиты являются обратной функцией частоты (см. гл.I, § 4).

Во-вторых, для сокращения сроков разработки весьма желательно использовать разработанные ранее узлы и приборы метрового диапазона, в частности, мощные наземные передатчики метрового диапазона

Инв.№ 015749

Рассмотрение всей совокупности приведенных выше соображений привело к выбору для радиолинии Земля-борт частот $f_з$ =102 Мгц и для радиолинии борт -Земля $f_o = \frac{9}{5} f_з$ = 183,6 Мгц.

§ 2. Оценка параметров, определяющих энергетические соотношения радиолиний

В отличие от разрабатываемых когда-либо радиосистем радиосистема контроля орбиты объекта "Е-I" должна работать при огромных по сравнению с земными масштабами расстояниях (до 400000 км). Задача обеспечения радиосвязи сама по себе является достаточно трудной.

Произведем вначале общую оценку возможностей радиолиний связи.

а) Максимальная чувствительность радиоприемных устройств

Чувствительность приемных устройств ограничивается в нашем случае двумя факторами: космическими радиошумами и собственными шумами приемного устройства.

Поглощаемая мощность космического радиоизлучения может быть приближенно оценена на основании данных о яркостной температуре $T_в$ различных участков неба [2]. Поглощаемая мощность космического радиоизлучения Галактики, являющейся протяженным источником, не зависит от коэффициента направленности антенн, и поэтому мощность принятых шумов может быть оценена как

$$P_{ш г} = kT_a \Delta f ,$$

где

T_a - "антенная температура", равная яркостной температуре данного участка неба.

[redacted]

Результаты оценок $P_{шг}$, сделанных на основании данных о яркостных температурах для различных частот и различных участков неба, сведены в табл.I.I.

Таблица I.I

Направление приема / Частота (Мгц)	$P_{шг}$ (вт/гц)		
	Галактический центр	Галактический экватор	Вдали от Галактического экватора
I02	8.10^{-20}	10^{-20}	7.10^{-21}
I83,6	2.10^{-20}	2.10^{-21}	10^{-21}

Верхняя оценка мощности радиошумов Галактики совпадает с направлением на галактический центр, нижняя - " в холодную" часть неба, вдали от галактического экватора.

Поскольку направление на центр Галактики (созвездие Стрельца) при приеме радиосигналов с объекта "Е-I" ,в соответствии с предполагаемой траекторией полета и временем пуска, маловероятно, то, очевидно, принимаемая мощность космических шумов будет не выше оценки для галактического экватора.

Собственные шумы приемника при реальном для метрового диапазона шумфакторе $n \leq 5$ не превышают $P'_{ш} \leq 2.10^{-20}$ вт/гц.

Таким образом, чувствительность приемной радиоаппаратуры определяется только собственными шумами и может быть принята для дальнейших оценок равной 2.10^{-20} вт/гц.

б) Средняя мощность бортового передатчика

Весовые и габаритные характеристики контейнера объекта "Е-I", закладываемые в проект изделия 8К72, предусматривают для бортовой аппаратуры системы радиоконтроля орбиты следующие предельные данные (табл.I.2):

[redacted]

Инв. №015749

Таблица I.2

Наименование прибора	Габариты (мм)	W (кг)	T время работы (час)
Передатчик,	350 x 300 x 200	6	40
блок приемников,	300 x 200 x 150	5	40
аккумуляторная батарея	-	48	40

В качестве первичного источника электропитания наилучшими весовыми характеристиками обладает серебряно-цинковая аккумуляторная батарея (удельная энергия $q = 60 \div 100 \ \frac{\text{вт.ч}}{\text{кг}}$).

Общая мощность батарея

$$N = \frac{q\,W}{T} \approx 100 \text{ вт}.$$

Полагая, что не менее 75 % мощности батареи может быть использовано для питания передатчика, полный к.п.д. которого имеет величину порядка 10÷15 %, можно рассчитывать на величину средней излучаемой мощности $P_{п} = 10$ вт.

в) Эффективная площадь наземных антенн

Минимальная эффективная площадь приемных антенн определяется условием

$$S_{эф\,min} \geqslant \frac{P'_{ш}\,\Delta f\,4\pi r^2}{P_{п}\,G_{п}}.$$

Принимая для оценок $P'_{ш} = 2 \cdot 10^{-20}$ вт/гц

$\Delta f = 5 \cdot 10^3$ гц

$P_{п} = 10$ вт,

[redacted] $G_{п} = 0{,}5$,

Инв. № 015749

получаем

$$S_{эф min} \geqslant 40 \text{ м}^2.$$

Более уверенный прием требует соотношения $\frac{P_c}{P_ш' \Delta f} = 10$ или соответственно $S_{эф} = 400$ м^2.

Такой эффективной площадью обладает параболический рефлектор диаметром не менее 30 м или синфазное полотно 20 х 20 м.

Действующих антенн, обладающих такими параметрами, в настоящее время у нас нет. Разработать и изготовить такие антенны и особенно поворотные устройства по азимуту и углу места для них в сроки, предусмотренные для объекта "Е-I", также невозможно. В связи с этим необходимо найти компромиссное техническое решение.

Обследование существующих в СССР радиотелескопов показало, что для радионаблюдений объекта "Е-I" могут быть использованы следующие радиотелескопы и поворотные устройства Крымской экспедиции ФИАН:

I. Усеченный параболический рефлектор (рис.I.2) ✓

$$S = 18 \times 8 \text{ м}; \quad S_{эф} = 70 \text{ м}^2$$

2. Усеченный рефлектор (рис.I.3) ✓

$$S = 21,8 \times 11,6 \text{ м}; \quad S_{эф} = 120 \text{ м}^2$$

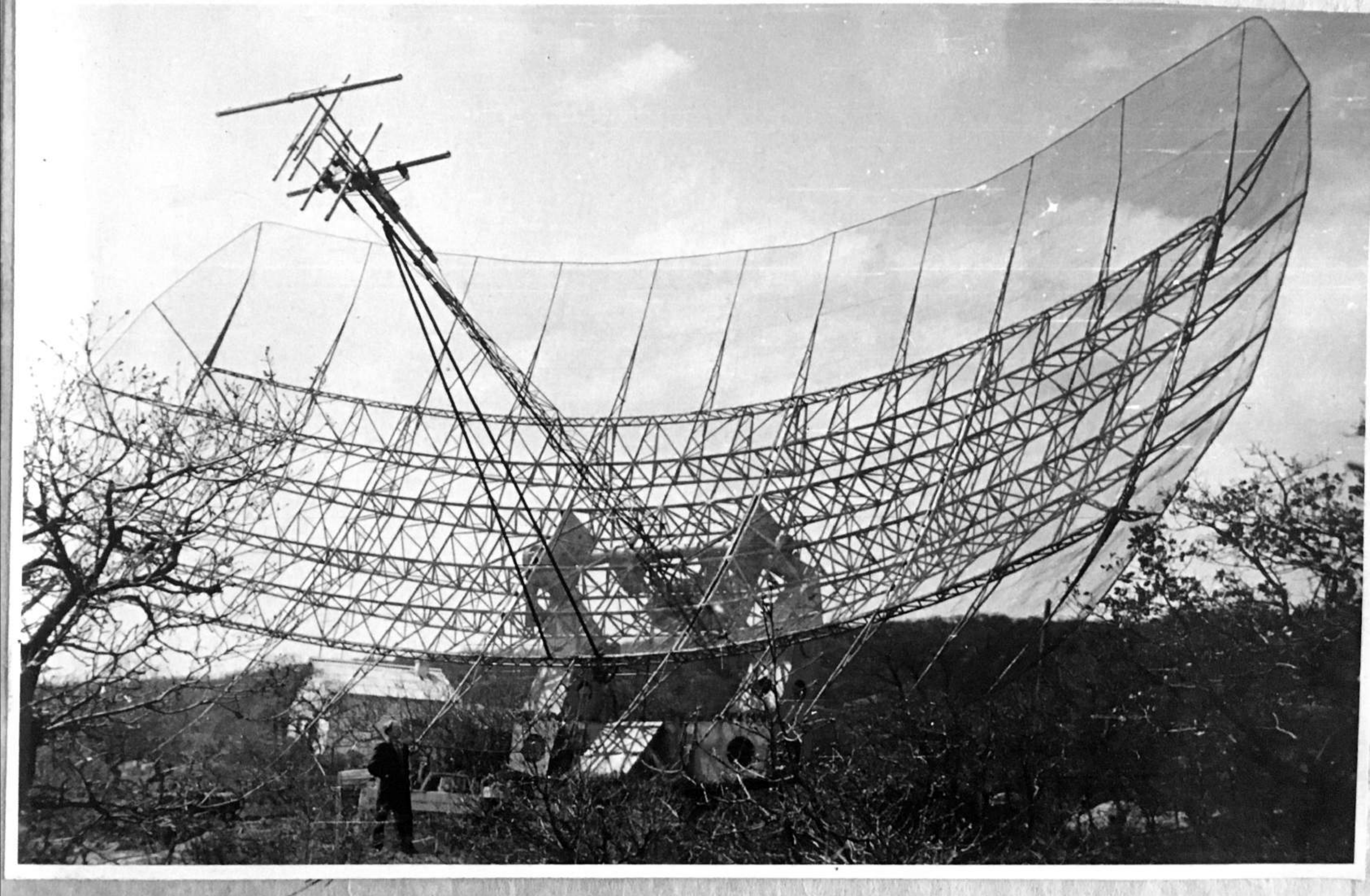
3. Поворотное устройство типа "627", на котором в настоящее время установлено синфазное полотно 10 х 6 м, настроенное на частоту 200 Мгц (рис.I.4). Это устройство может быть использовано для установки нового синфазного полотна с $S_{эф} = 100$ м^2, настроенного на частоту бортового передатчика $f_o = 183,6$ Мгц. Задание на разработку и изготовление такого полотна в настоящее время выдано ЦКБ-678 и заводу № 678. ✓

4. Параболический рефлектор $d = 7,5$ м от трофейного радиолокатора "Большой Вюрцбург" (рис.I.5). При $f = 102$ Мгц $G = 30$.

[redacted]



Рис. I.2



Лаппо В.И. Рис. I.3

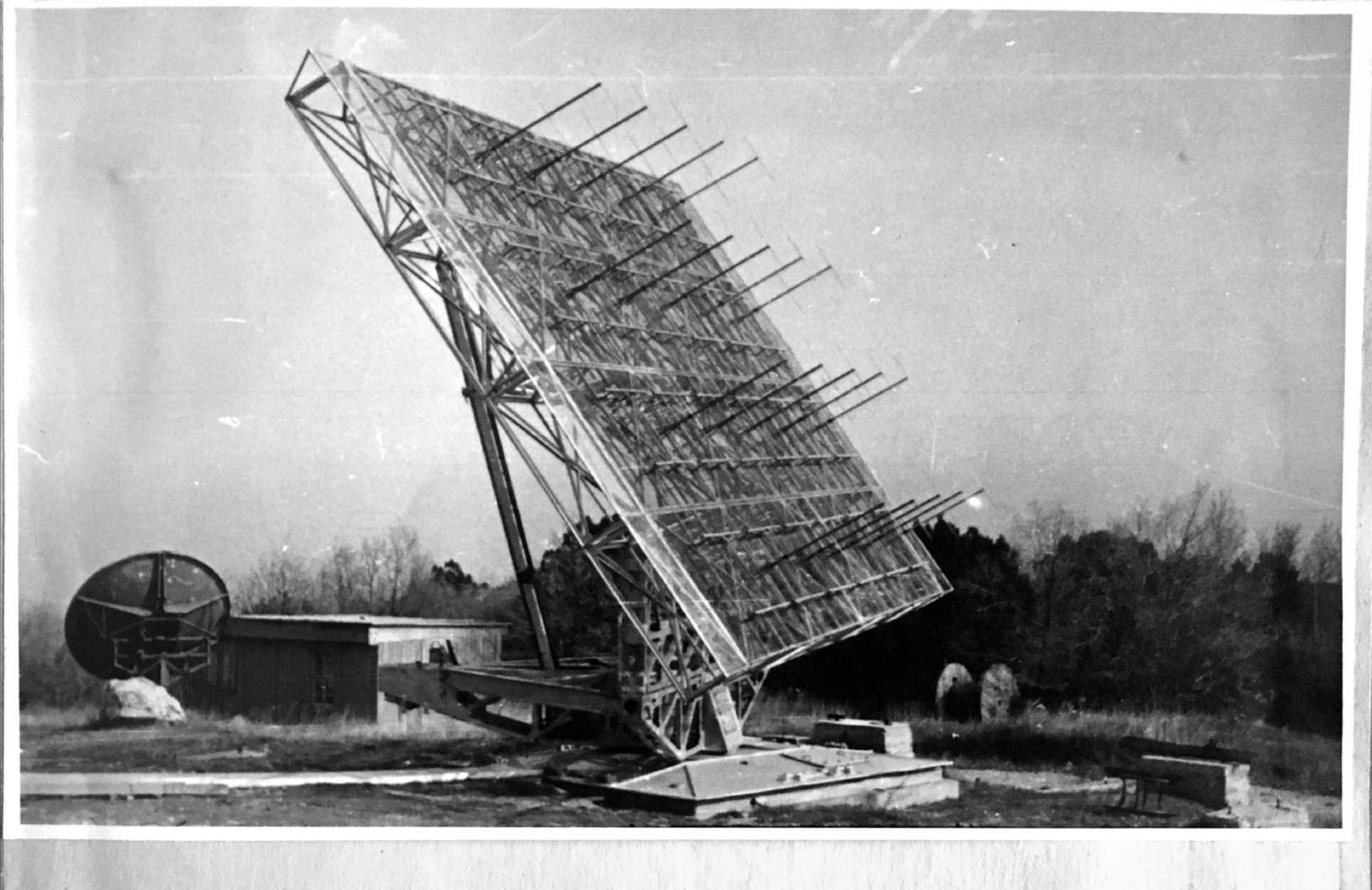


Рис. I.4



Рис. I.5

Мощное поворотное устройство этой антенны может быть использовано для установки антенны, обладающей на частоте $f = 102$ Мгц $G = 60$. Более детальные характеристики перечисленных антенн и их поворотных устройств приведены в табл. V.I (глава У).

г) Ширина полосы частот линейной части приемных устройств

Приведенные выше данные показывают, что наиболее слабым звеном радиосвязи с объектом "Е- I" является радиолиния борт-Земля. Поэтому оценку максимальной полосы частот радиолиний произведем из неравенств (I.I) и (I.2) на основе данных для этой радиолинии:

$$\text{при} \qquad b = \frac{P_c'}{P_ш' \Delta f} \geq 1$$

$$\Delta f_{max} < \frac{P_п G S_{эф}}{4\pi r_{max}^2 P_ш'} , \qquad (I.1)$$

$$\Delta f_{max} > \Delta f_и + K_f f_o + \delta f_д \qquad (I.2)$$

Примем для оценки следующие данные:

$K_f = 10^{-5}$ - общая нестабильность радиолинии, приведенная к частоте f_o,

$f_o = 183,6$ Мгц - частота бортового передатчика,

$P_п = 10$ вт - средняя мощность бортового передатчика,

$G = 0,4$ - выигрыш бортовой антенны с учетом круговой поляризации и провалов в диаграмме до 0,5 по напряжению,

$S_{эф} = 100$ м^2 - эффективная площадь приемной антенны,

$r_{max} = 4 \cdot 10^8$ м - максимальная дальность,

[redacted]

$P_ш = 2 \cdot 10^{-20}$ вт/гц – удельная мощность шумов при шумфакторе $n = 5$,

$\Delta f_и$ – полоса, необходимая для передачи информации,

$\delta f_D = 10^3$ гц – допплеровское смещение частоты в течение сеанса приема.

Тогда из (I.1) и (I.2) имеем

$$8000 < \Delta f_{max} < 10000 \text{ гц}$$

$$\Delta f_и \approx 5000 \text{ гц}$$

$$\Delta f_{max} \approx 8000 \text{ гц}$$

Применение подстройки частоты в наземных приемных устройствах позволяет сократить полосу частот Δf_{max} до значения $\Delta f_и$, которое для канала измерения дальности и телеметрии в соответствии с принятой структурой сигнала (см. главу П) составит около $5 \cdot 10^3$ гц, для канала измерения скорости – около 100 гц и для канала измерения углов – 200 ÷ 300 гц.

§ 3. Расчет энергетических соотношений радиолиний

а) Исходные данные

Для расчета энергетических соотношений радиолиний приняты следующие исходные данные:

$P_{нб} = 10$ вт – мощность непрерывного излучения бортового передатчика,

$P_{иб} = 100$ вт – импульсная мощность бортового передатчика,

$P_{нз} = 5$ квт – мощность передатчика запроса скорости,

$P_{из} = 50$ квт – импульсная мощность передатчика запроса дальности,

$G_{1б} = 0,5$ – выигрыш бортовой приемной антенны с учетом диаграммных минимумов,

[redacted]

Инв. № 015749

$G_{2б} = 0,4$ – выигрыш бортовой приемно-передающей антенны с учетом круговой поляризации и диаграммных минимумов,

$G_з = 30$ – выигрыш наземной передающей антенны с учетом круговой поляризации,

$S_{эф} = 100$ м^2 – эффективная площадь наземной приемной антенны каналов дальности, скорости и РТС-I2Б,

$S_{эф\,\alpha} = 70$ м^2, $S_{эф\,\beta} = 120$ м^2 – эффективная площадь наземных антенн каналов измерения углов (α -канал азимута; β - канал угла места),

$\eta_{1б} = 0,7$, $\eta_{2б} = 0,7$, $\eta_з = 0,7$ – к.п.д. антенн (индексы соответствуют пунктам 5,6,7),

$\Delta f_1 = 0,8$ кгц – полоса линейной части бортовых приемников,

$\Delta f_2 = 5$ кгц – полоса линейной части наземных приемников,

$\Delta f_3 = 100$ гц – полоса линейной части канала измерения скорости,

$\Delta f_4 = 300$ гц – эквивалентная полоса угломерного приемного устройства,

$P'_ш = 2 \cdot 10^{-20}$ вт/гц – удельная мощность собственных шумов, отнесенная ко входу приемных устройств при шумфакторе $n = 5$,

$r_{max} = 4 \cdot 10^8$ м – максимальная дальность,

$r_{1н} = 10^8$ м – дальность в начале I-го сеанса,

$r_{1k} = 2 \cdot 10^8$ м – дальность в конце I-го сеанса,

$r_{2н} = 3 \cdot 10^8$ м – дальность в начале 2-го сеанса,

$\lambda_з = 2,94$ м – длина волны радиолинии запросов,

$\lambda_о = 1,63$ м – длина волны радиолинии ответов,

$R_{вх} = 50$ ом – входное сопротивление приемных устройств.

[redacted]

Инв. № 015749

б) Радиолиния запроса дальности

$$P_{сигн} = \frac{P_{нз}\, G_з \eta_з G_{1б} \eta_{1б} \lambda_з^2}{(4\pi r)^2}$$

$$\frac{P_{сигн}}{P_ш} = \frac{P_{сигн}}{P'_ш \Delta f_1}, \qquad U_{сигн} = \sqrt{P_{сигн}\, 2R_{вх}} .$$

Таблица I.3

	r (м)	$P_{сигн}$ (вт)	$U_{сигн}$ (мкв)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	$\frac{U_{сигн}}{U_ш}$
$r_{1н}$	10^8	$2 \cdot 10^{-12}$	14	12500	112
r_{1k}	$2 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^{-13}$	7	3100	56
$r_{2н}$	$3 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^{-13}$	4,7	1400	37
r_{max}	$4 \cdot 10^8$	$1,25 \cdot 10^{-13}$	3,5	780	28

в) Радиолиния запроса скорости

$$P_{сигн} = \frac{P_{нз}\, G_з \eta_з G_{1б} \eta_{1б} \lambda_з^2}{(4\pi r)^2}$$

Таблица I.4

	r (м)	$P_{сигн}$ (вт)	$U_{сигн}$ (мкв)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	$\frac{U_{сигн}}{U_ш}$
$r_{1н}$	10^8	$2 \cdot 10^{-13}$	4,4	1250	35
r_{1k}	$2 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^{-14}$	2,2	310	18
$r_{2н}$	$3 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^{-14}$	1,5	140	12
r_{max}	$4 \cdot 10^8$	$1,25 \cdot 10^{-14}$	1	78	9

[redacted]

Инв. №015749

г) Радиолиния ответа дальности и РТС-12Б

$$P_{сигн} = \frac{P_{и\delta}\ G_{2\delta}\ \eta_{2\delta}\ S_{эф}}{4\pi r^2}$$

$$P_ш = P'_ш \Delta f_2$$

Таблица I.5

r	(м)	$P_{сигн}$ (вт)	$U_{сигн}$ (мкв)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	$\frac{U_{сигн}}{U_ш}$
$r_{1н}$	10^8	$2{,}2 \cdot 10^{-14}$	1,5	220	15
r_{1k}	$2 \cdot 10^8$	$5{,}5 \cdot 10^{-15}$	0,75	55	7,5
$r_{2н}$	$3 \cdot 10^8$	$2{,}5 \cdot 10^{-15}$	0,5	25	5
r_{max}	$4 \cdot 10^8$	$1{,}4 \cdot 10^{-15}$	0,37	14	3,7

д) Радиолиния ответа скорости

$$P_{сигн} = \frac{P_{н\delta}\ G_{2\delta}\ \eta_{2\delta}\ S_{эф}}{4\pi r^2}$$

$$P_ш = P'_ш \Delta f_3 .$$

Таблица I.6

r	(м)	$P_{сигн}$ (вт)	$U_{сигн}$ (мкв)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	$\frac{U_{сигн}}{U_ш}$
$r_{1н}$	10^8	$2{,}2 \cdot 10^{-15}$	0,47	1100	33

[redacted]

r (м)		$P_{сигн}$ (вт)	$U_{сигн}$ (мкв)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	$\frac{U_{сигн}}{U_ш}$
$r_{1к}$	$2 \cdot 10^8$	$5{,}5 \cdot 10^{-16}$	0,24	275	16,5
$r_{2н}$	$3 \cdot 10^8$	$2{,}5 \cdot 10^{-16}$	0,16	125	11
r_{max}	$4 \cdot 10^8$	$1{,}4 \cdot 10^{-16}$	0,12	70	8,3

е) Радиолиния измерения углов

$$P_{сигн} = \frac{P_{нб}\, G_{2б}\, \eta_{2б}\, S_{эф\,(\alpha,в)}}{4\pi r^2}$$

$$P_ш = \Delta f_4 P'_ш$$

$P_{сигн\,в} > P_{сигн\,\alpha}$, так как $S_{эф\,в} > S_{эф\,\alpha}$.

Таблица I.7

r (м)		$P_{сигн\,\alpha}$ (вт)	$U_{сигн}$ (мкв)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	$\frac{U_{сигн}}{U_ш}$
$r_{1н}$	10^8	$1{,}5 \cdot 10^{-15}$	0,39	250	16
$r_{1к}$	$2 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^{-16}$	0,2	67	8
$r_{2н}$	$3 \cdot 10^8$	$1{,}8 \cdot 10^{-16}$	0,13	30	5,5
r_{max}	$4 \cdot 10^8$	10^{-16}	0,1	16	4

ж) Радиолиния альтиметра

Мощность отраженного от поверхности Луны сигнала на входе

[redacted]

Инв. № 015749

приемного устройства может быть определена как

$$P_{сигн} = \frac{P_{иб}\, G_{2б}\, \eta_{2б}}{4\pi r^2}\; \frac{S_{эф\, л}}{4\pi r^2}\; \frac{G_{2б}\, \eta_{2б}\, \lambda_0^2}{4\pi}, \qquad (I.3)$$

где первый множитель правой части определяет плотность энергии радиосигнала бортового передатчика у поверхности Луны, второй- плотность энергии эхо-сигнала вблизи объекта "Е-I", находящегося от поверхности Луны на расстоянии r, и третий - эффективную площадь приемной антенны альтиметра.

После преобразования выражения (I.3) получим

$$P_{сигн} = \frac{P_{иб}}{(4\pi)^3}\; \frac{(G_{2б}\, \eta_{2б}\, \lambda_0)^2}{r^4}\; S_{эф}. \qquad (I.4)$$

Эффективная отражающая поверхность Луны - $S_{эф\, л}$ - может быть определена приближенным методом зон Френеля. При этом должны быть учтены явление поглощения энергии радиоволн лунной почвой и уменьшение влияния периферийных зон Френеля на поле, создаваемое I-ой зоной в точке приема.

Определим радиус I-ой зоны Френеля - $r_ф$ - (рис. I.6)

$$\left.\begin{aligned} r_ф^2 &= R_л^2 - (R_л - x)^2 \\ r_ф^2 &= \left(r + \frac{\lambda_0}{4}\right)^2 - (r + x)^2 \end{aligned}\right\} \qquad (I.5)$$

Из (I.5) следует, что

$$2R_л x - 2\frac{r\lambda_0}{4} - \left(\frac{\lambda_0}{4}\right)^2 + 2rx = 0 .$$

Пренебрегая малым членом $\left(\frac{\lambda_0}{4}\right)^2$,

[redacted]

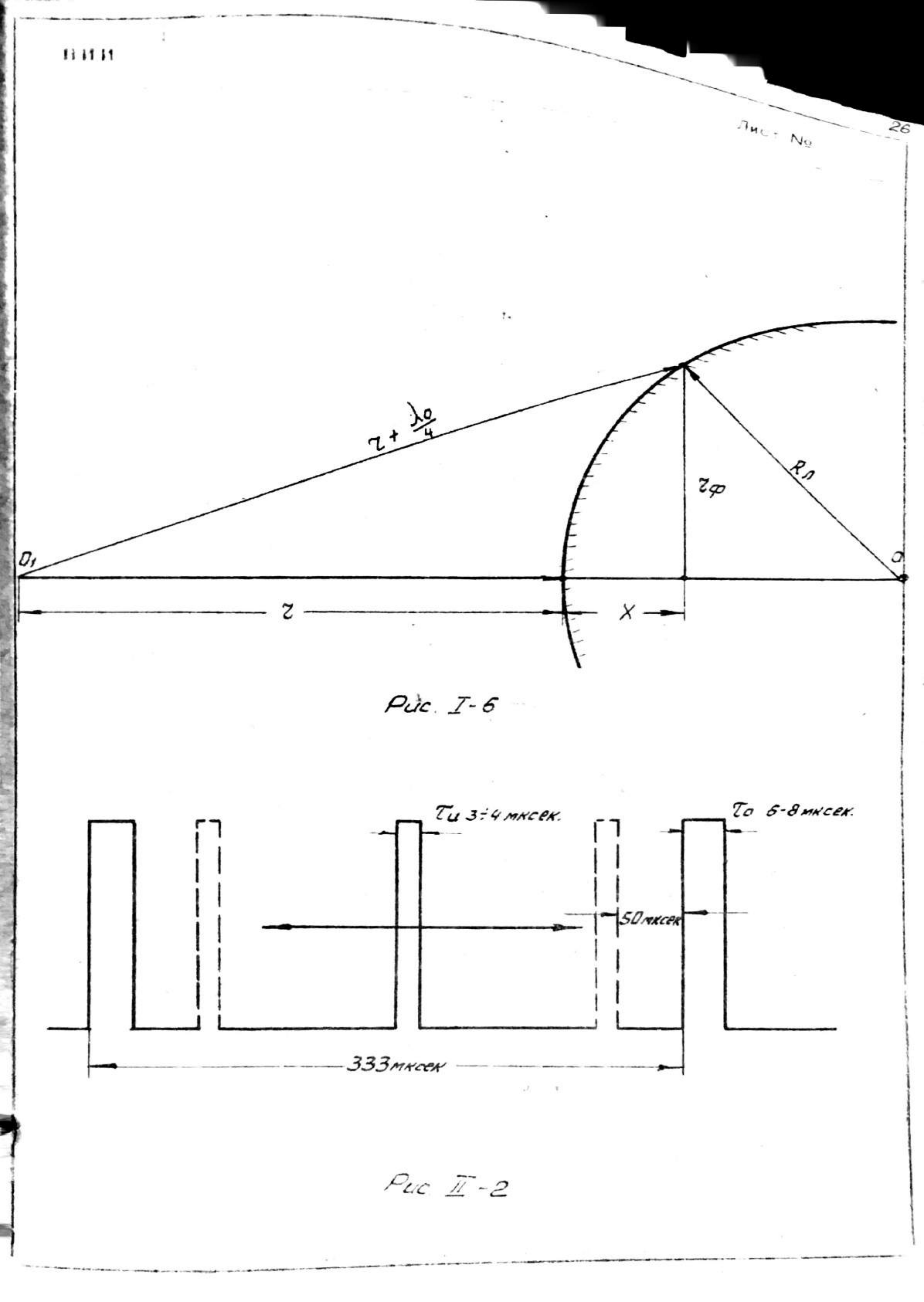


Рис. I-6

Рис. II-2

$$x = \frac{r}{R_л + r} \frac{\lambda_0}{4} . \qquad (I.6)$$

Подстановка (I.6) в первое уравнение (I.5) дает

$$r_ф^2 = 2R_л \frac{\lambda_0}{4} \frac{r}{R_л + r} - \left(\frac{\lambda}{4} \frac{2}{R_л + r}\right)^2 .$$

Учитывая, что

$$2R_л >> \frac{\lambda}{4} \frac{r}{R_л + r} ,$$

получим

$$r_ф^2 \approx \frac{\lambda}{2} \frac{r R_л}{R_л + r} . \qquad (I.7)$$

Металлический диск радиуса $r_ф$ имеет эффективную отражающую поверхность

$$S'_{эф} = \frac{4\pi S^2}{\lambda^2} , \qquad (I.8)$$

где

$$S = \pi r_ф^2 .$$

Для случая идеально гладкой металлической сферической поверхности в значении $S'_{эф}$ следует ввести поправки на криволинейность поверхности (множитель $\frac{2}{\pi}$ по полю) и на интегральное влияние 2-ой, 3-й и других зон Френеля , создающих в совокупности противофазное поле, уменьшающее поле от I-й зоны приблизительно в два раза.

[redacted]

Таким образом, для гладкого металлического шара радиусом $R_л$

$$S''_{эф} = (\frac{1}{2})^2 (\frac{2}{\pi})^2 S'_{эф},$$

с учетом (I.8) и (I.7)

$$S''_{эф} = \pi R_л^2 (\frac{r}{R_л + r})^2. \qquad (I.9)$$

Для Луны

$$S_{эф} = \rho g S''_{эф}, \qquad (I.10)$$

где

ρ - коэффициент отражения, учитывающий потери в лунной почве,

g - выигрыш в направлении зондирующего радиопередатчика за счет неровностей лунной поверхности.

Значения ρ и g в настоящее время точно не определены. Для оценки их величин необходимо знать химический состав и структуру лунной поверхности.

В литературе наиболее распространенным является суждение о том, что лунная поверхность представляет собой твердые вулканические породы, по составу аналогичные земным, которые покрыты слоем пыли толщиной порядка нескольких миллиметров [3,4,5].

Экспериментальная проверка такой структуры в земных условиях дает значения $\rho = 0,1 \div 0,17$ [3,5,6].

Надежные экспериментальные данные, определяющие величину g, в настоящее время нам неизвестны. В литературе приводятся различные цифры от $g = 50$ [7] до $g = 1,8$ [6].

Наиболее вероятным значением по литературным данным является значение $g = 5 \div 5,7$ [3,5], которые мы и используем в даль-

[redacted]

нейших расчетах.

Таким образом, эффективная поверхность Луны при радиооблучении ее с расстояния r

$$S_{эф} = \rho g \pi R_л^2 \left(\frac{r}{R_л + r}\right)^2 , \qquad (I.11)$$

а мощность эхо-сигнала в точке приема

$$P_{сигн} = \rho g P_{uб} \left(\frac{G_{2б} \eta_{2б} \lambda_0 R_л}{8\pi}\right)^2 \frac{1}{\left[r(R_л + r)\right]^2} . \qquad (I.12)$$

Мощность сигнала, рассчитанная по (I.I2), при минимальном значении $G_{2б}$ =0,4, соответствующем направлению излучения, совпадающему с диаграммным минимумом бортовой антенны альтиметра, приведена в табл.I.8.

Таблица I.8

r (км)	$P_{сигн}$ (вт)	$\frac{P_{сигн}}{P_ш}$	Примечание
4000	10^{-16}	0,6	$P_ш = P'_ш \Delta f$
3000	$2,5 \cdot 10^{-16}$	1,5	
2000	10^{-15}	6	$P'_ш = 2 \cdot 10^{-20}$ вт/гц
1000	$6,7 \cdot 10^{-15}$	40	$\Delta f_1 = 8$ кгц
500	$4 \cdot 10^{-14}$	250	$n = 5$
100	$1,5 \cdot 10^{-12}$	10^4	
50	$6 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^4$	

При вращении объекта в моменты совпадения направления на цель с максимумами диаграммы излучения бортовых антенн нерегулярные срабатывания альтиметра будут, очевидно, наблюдаться с расстояний 3÷4 тыс.км.

Устойчивое срабатывание по данным таб. 1.8 должно начаться с 2÷3 тыс.км.

§ 4. Погрешности радиоизмерений координат и радиальной скорости объекта "Е-I" за счет распространения радиоволн

При оценке ошибок, вносимых в радиоизмерения координат и скорости объекта "Е-I" за счет распространения радиоволн, следует учитывать следующие факторы:

I) неточность знания величины скорости распространения электромагнитных волн в вакууме (константы "C");

2) влияние тропосферы и

3) влияние ионосферы.

В настоящее время константа "C" известна с точностью до $\pm 4 \cdot 10^5$ см/сек (см., например, [8] и [9]). В случаях, когда речь идет о радиолокационных задачах, относящихся к объектам, летящим в атмосфере Земли (на расстояниях от радиолокатора до 2÷3 тыс.км), неточность знания "C" приводит к ошибкам определения расстояния порядка долей или единиц метров, которые в большинстве случаев можно не учитывать.

Для объектов, летящих в межпланетном пространстве, эти ошибки приобретают значительную величину. Для объекта "Е-I" ошибка в определении расстояния за счет неточности знания "C" меняется с увеличением расстояния следующим образом :

Таблица I.9

r_E	км	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
δr_E	км	1,33	2,66	4,00	5,33

Влияние тропосферы на радиоизмерения координат и скорости объекта "Е-I" может сказаться в виде ошибок в определении даль-

[redacted]

ности (за счет вариации скорости распространения радиоволн в зависимости от метеорологических условий) и в виде ошибок в определении угла места за счет тропосферной рефракции.

При углах места ε порядка 10° длина пути, проходимого радиоволнами в тропосфере, $r \sim 150$ км. Согласно [10] при длине пути радиоволн в тропосфере порядка 200 км колебания оптической длины пути за счет колебаний температуры достигают 40 см. Эту оценку, по-видимому, следует принять за меру влияния тропосферы на радиоизмерения дальности.

Что касается тропосферной рефракции, то ее влияние на измерение угла объекта "Е-I" при $\varepsilon \sim 10^{\circ}$ может быть сведено до $(1 \div 3)''$ посредством использования таблиц, позволяющих вносить поправки на тропосферную рефракцию в зависимости от температуры, давления и влажности в приземном слое. Эти таблицы были разработаны ЦНИИ-108 в 1955 г. по заданию НИИ-885 и содержатся в отчете ЦНИИ-108 по теме "Звезда" [11].

При прохождении радиоволн через ионосферу Земли в результате воздействия свободных электронов коэффициент преломления радиоволн, а следовательно, и скорости распространения радиоволн (фазовая и групповая), меняются в соответствии с изменениями электронной концентрации на пути радиоволн. Вследствие этого в радиоизмерении наклонной дальности объекта "Е-I" импульсным методом в измерения его угловых координат и в измерения радиальной скорости фазовым методом ионосфера будет вносить погрешности, величина которых сильно зависит от состояния ионосферы во время измерений и от применяемых частот.

Кроме того, при прохождении радиоволн через ионосферу Земли имеет место вращение плоскости поляризации радиоволн, связанное

[redacted]

с магнито-ионным распределением их, вызываемым магнитным полем Земли.

При прохождении объекта "Е-I" в зоне непосредственной близости к Луне возможно возникновение дополнительных ошибок в радиоизмерениях его координат и скорости за счет ионосферы Луны, существование которой следует предполагать.

Оценки погрешностей, вносимых ионосферой в радиоизмерения, проводятся на основе ряда упрощающих истинную картину предположений, указанных далее. Это связано с недостаточностью имеющихся в настоящее время сведений о структуре ионосферы Земли (и особенно ее внешней области) и о процессах, происходящих в ней. Вопросы, связанные с ионосферой Луны, в дальнейшем не затрагиваются из-за отсутствия сведений о ней.

Из работ, в которых рассмотрены погрешности, вносимые в радиолокацию объектов, летящих в ионосфере, и в измерения скорости таких объектов [12, 13, 14], следует, что в ультракоротковолновом диапазоне волн:

I) при радиоимпульсном измерении дальности объекта, летящего в ионосфере, измеренная дальность оказывается завышенной из-за замедления импульсов в ионизированной среде; при этом выражение для ионосферной погрешности измерения дальности (в случае, если запрос ведется на частоте f_1, а ответ на частоте mf_1) таково:

$$\delta r_E = \frac{2 \cdot 10^7}{f_1^2} \left(1 + \frac{1}{m^2}\right) \int_0^{r_E} N\, dr \qquad (I.13)$$

или

[redacted]

Инв. № 015749

$$\delta r_E = \frac{2\ 10^7}{f_1^2}\left(1 + \frac{1}{m^2}\right)\int_{\rho}^{R_E} \frac{N\ R\ dR}{\sqrt{R^2 - \rho^2 \cos^2 B}}\ , \qquad (I.13')$$

где

N – электронная концентрация в $\frac{эл}{см3}$,

ρ – радиус Земли,

а интегрирование ведется по пути r_E (I.13) от наземного измерительного пункта до объекта (см.рис.I.7).

Формула (I.13') получается из (I.13) при учете сферичности ионосферы Земли посредством замены переменной интегрирования r на R, где R – расстояние от центра Земли до текущей точки на пути распространения радиоволн;

2) при измерении радиальной скорости $\dot{r}_E$ радиоинтерференционным методом (методом эффекта Допплера) возникает погрешность, связанная с увеличением фазовой скорости радиоволн в ионосфере по сравнению со скоростью их распространения в вакууме. Вследствие этого измеренная радиальная скорость оказывается искаженной. Величина погрешности $\delta\dot{r}_E$ определяется выражением

$$\delta\dot{r}_E = \frac{2\cdot 10^7}{f_1^2}\left(1 + \frac{1}{m^2}\right)\frac{d}{dt}\int_0^{r_E} N dr \qquad (I.14)$$

или, учитывая сферичность ионосферы, (I.14) можно записать в виде (I.14')

$$\delta\dot{r}_E = \frac{2\cdot 10^7}{f_1^2}\left(1 + \frac{1}{m^2}\right)\left[N_E(\dot{r}_E + \dot{B}\rho\cos B) - \frac{\dot{B}\rho^2 \sin 2B}{2} \times \int_{\rho}^{R_E} \frac{dN}{dR}\frac{dR}{\sqrt{R^2 - \rho^2\cos^2 B}}\right], \qquad (I.14')$$

[redacted]

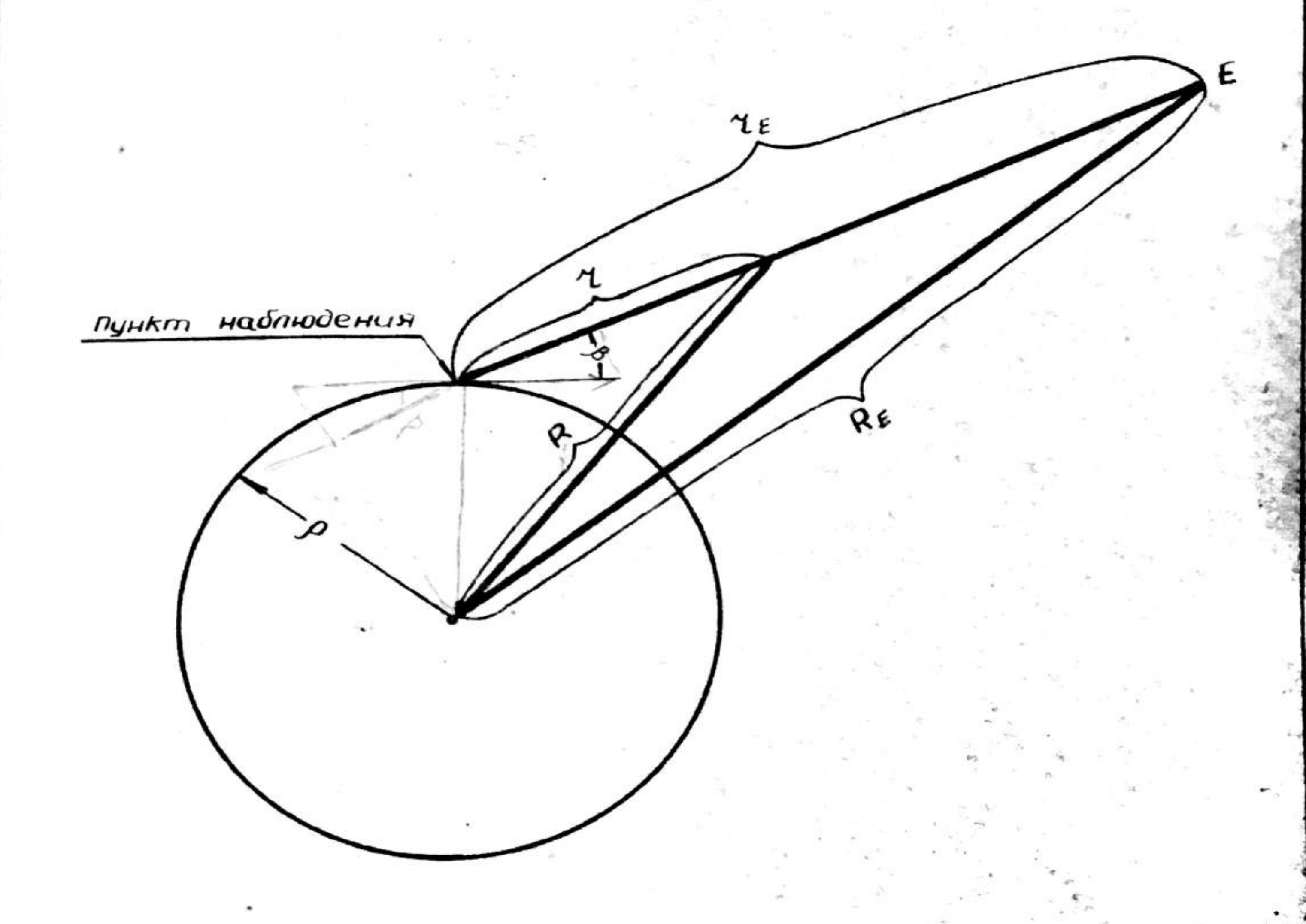


Рис. I-7

Инв. № 015749

где

N_E – концентрация электронов в той точке пространства, где находится объект,

$\dot{\beta}$ – скорость изменения угла места объекта,

$m = \frac{f_2}{f_1}$ – отношение частоты ответного сигнала к частоте запроса;

3) при прохождении радиоволн через ионосферу имеет место искривление лучей, вызванное рефракцией. Из-за этого измеренный угол места объекта содержит погрешность, равную углу рефракции, определенному выражением:

$$\delta\beta = -\frac{4.10^7}{f_1^2}\ \frac{\rho\cos\beta}{r_E}\int_{\rho}^{R_E}\frac{dN}{d\ R}\left(1-\frac{\sqrt{R_E^2-\rho^2\cos^2\beta}}{\sqrt{R^2-\rho^2\cos^2\beta}}\right)dR\ , \qquad (I.15)$$

или, так как

$$R_E \approx r_E >> \rho \quad .$$

формулу (I.I5) можно упростить:

$$\delta\beta = \frac{4.10^7}{f_1^2}\ \rho\cos\beta\int_{\rho}^{R_E}\frac{dN}{dR}\ \frac{dR}{\sqrt{R^2-\rho^2\cos^2\beta}}. \qquad (I.15')$$

Нужно подчеркнуть, что выражения (I.I3'), (I.I4') и (I.I5') справедливы лишь для достаточно высоких частот (УКВ-диапазон), для которых можно считать, что:

[redacted]

1) $n^2 - 1 << 1$, Инв № 015749

где n - коэффициент преломления, и

2) $\omega^2 >> \nu^2$,

где

ω - угловая частота радиоволны,

ν - частота соударений электронов.

Из выражений (I.13), (I.14) , (I.15) следует, что для определения ионосферных погрешностей дальности δr_E , скорости $\delta \dot{r}_E$ и угла места δB необходимо знание распределения электронной концентрации по пути распространения радиоволн $N(r)$ и производной по времени от интеграла $\int_0^{r_E} N(r)dr$.

Знание распределения $N(r)$ позволило бы определить величину $\int_0^{r_E} Ndr$, от которой зависит ошибка измерения расстояния, и величину $\frac{dN}{dR}$, от которой зависит δB .

Для оценок этих величин в настоящее время можно пользоваться лишь данными, полученными за последние годы при ракетных исследованиях ионосферы (в Советском Союзе такие исследования проводятся НИИ-885 , [15]) , а также данными, полученными при наблюдениях радиосигналов советских искусственных спутников Земли и результатами радиолокации Луны, проводившейся в Англии [16].

Вопрос об изменениях во времени величины $\int Ndr$ мало изучен. Из результатов многочисленных наблюдений над состоянием ионосферы известно, что в ионосфере имеются облака с электронной концентрацией, отличной от средней концентрации окружающей их области, перемещающиеся со скоростями до 150 м/сек. Можно полагать, что существуют и другие явления, способствующие быстрым

[redacted]

Инв. № 015749

изменениям общего содержания свободных электронов вдоль пути распространения радиоволн. Однако, в связи с недостаточностью сведений по этому вопросу, в дальнейшем предполагается, что электронная концентрация в ионосфере меняется только с высотой над поверхностью Земли, не меняясь во времени. Зависимость свойств ионосферы от географических координат также не учитывается.

Именно при этом предположении можно пользоваться формулами (I.13'), (I.14), (I.15) и (I.15').

Ниже приводятся оценки ионосферных погрешностей радиоизмерений дальности, радиальной скорости и угла места, сделанные при указанных выше предположениях. Оценка ведется для следующих условий:

$$R_E \sim r_E \sim 100000 \div 384000 \text{ км.}$$

Частота запроса $f_1 = 102$ Мгц.

Коэффициент трансформации $m = \dfrac{f_2}{f_1} = 1{,}8,$

где f_2 - частота ответа.

Рассматриваются два угла места:

$$\beta_1 = 10^0, \quad \beta_2 = 40^0.$$

При определении $\dot{\beta}$ считается, что изменение β во времени обусловлено только лишь суточным вращением Земли вокруг своей оси (движение объекта "Е-I" при этом не учитывается).

Тогда

$$|\dot{\beta}| \simeq \frac{2\pi}{T} = 7{,}27\cdot 10^{-5}\text{сек.}^{-1} \text{ *)},$$

---

*) При

$$R_E \sim r_E >> \rho \qquad \cos\alpha = \frac{\rho + r_E \sin\beta}{R_E} \approx \sin\beta$$

и $\dot{\beta} = -\dot{\alpha}$, где α - угол поворота Земли, соответствующий углу β.

[redacted]

Инв. № 015749

где T - период вращения Земли.

Для оценки величины $\int_0^{r_E} N dr$ можно, как указывалось выше, воспользоваться данными об общем содержании электронов в вертикальном столбе атмосферы, полученными в [16], согласно которым в 1955 г. интегральная концентрация в вертикальном столбе достигала $2{,}5 \cdot 10^{13}$ эл/см^2. Согласно результатам обработки доплеровских частот сигналов 2-го советского спутника Земли в ноябре 1957 г., проведенной в НИИ-885, интегральная концентрация электронов в столбе до 500 км имела примерно такой же порядок. В феврале 1958 г., во время высотного пуска ракеты Р5А, методом дисперсионного интерферометра НИИ-885 получил распределение электронной концентрации по высоте, приводимое на рис.1.8 (сплошная кривая). Этому распределению соответствует интегральная концентрация (до высоты 473 км) $\sim 3{,}65 \cdot 10^{13}$ эл/см^2. Следует, однако, иметь в виду, что при этом на высоте 473 км еще имеет место весьма значительная электронная концентрация ($\sim 10^6 \frac{эл}{см^3}$), вследствие чего при использовании этих данных для оценки влияния $\int_0^{r_E} N dr$ на радиосвязь с объектом "Е-1" необходимо экстраполировать распределение, приведенное на рис. 1.8. Так как следует дать оценку максимальной погрешности измерений, создаваемой ионосферой, то при определении $\int_0^{r_E} N dr$ используется распределение $N(H)$ (рис.1.8), соответствующее высокой степени ионизации ионосферы. Экстраполяция была проведена по закону, указанному пунктиром на том же рисунке.

Следует иметь в виду, что в настоящее время предполагается (см. [16]), что в районе Земли в межпланетном пространстве имеется ионизированный газ с концентрацией электронов порядка $6 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^3$ эл/см^3.

[redacted]

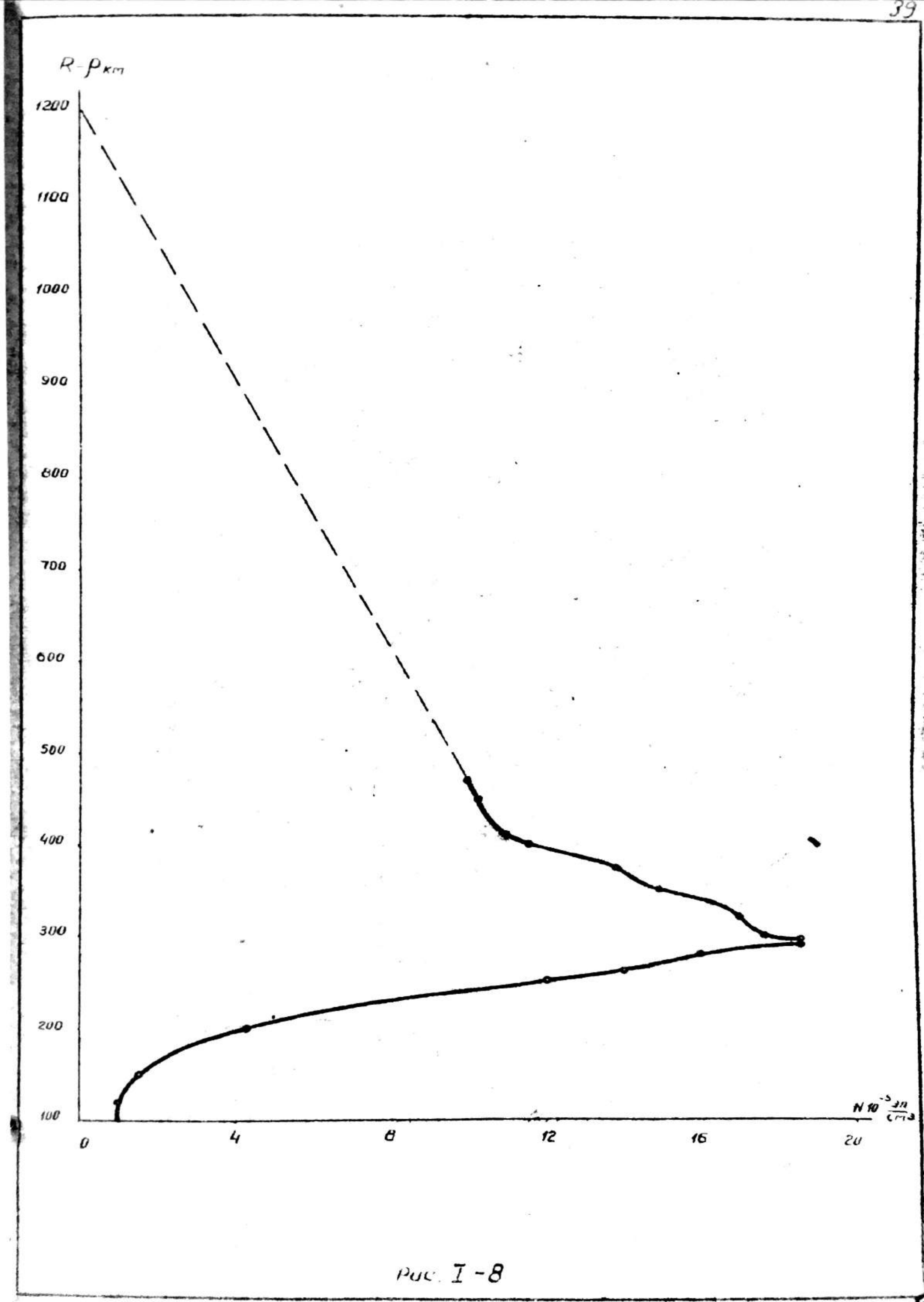

R-ρ км
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
4
8
12
16
20
N 10⁻⁵ эл/см³

Рис. I-8

40

Инв №015749

В приводимых ниже оценках учитывается концентрация межпланетного газа, равная 6.10^2 эл/см^2.

Произведенные оценки сведены в таблицу I.10.

Оценка ошибки в определении дальности δr_E произведена для $r_E \sim 4.10^{10}$ см.

Таблица I.10

Оценки погрешностей, вносимых ионосферой в измерения координат и радиальной скорости объекта "Е-I" (сделанные в предположениях, указанных выше)

β^o	δr_{E_1} [км]	$\delta \dot{r}_E$ [м/сек]	$\delta\beta$" (f = 183,6 мгц)
10	8,6	0,30	366
40	4,8	0,12	30

В заключение настоящего раздела целесообразно остановиться еще на одном явлении, возникающем при прохождении через ионосферу радиоволн, посылаемых на объект "Е-I" и принимаемых с него. Это явление - вращение плоскости поляризации радиоволн вследствие магнито-ионного расщепления из-за магнитного поля Земли- может вызвать нарушения радиосвязи с объектом "Е-I" в виде поляризационных федингов в случае использования антенн с линейной поляризацией.

Такие фединги были обнаружены при опытах по радиолокации Луны, проводившихся в 1955-56 гг. в Англии (вблизи Манчестера) на частоте ~ 120 Мгц [5]. Одновременный прием сигналов, отраженных от Луны на антенны со взаимноперпендикулярными поляризациями, показал, что причиной этих федингов является вращение плоскости поляризации радиоволн, связанное с изменением интегральной электронной концентрации на пути от наблюдательного пункта до Луны.

[redacted]

Аналогичные явления наблюдались при приеме сигналов, излучаемых с ракеты Р5А (полностью стабилизированной при полете на пассивном участке траектории) во время пуска 2I февраля I958 г. Опыт, проведенный НИИ-885, показал, что радиоволны с частотой I44 Мгц, излучавшиеся с ракеты с помощью антенны с линейной поляризацией, принимались на Земле с вращающейся поляризацией, причем поворот поляризации на 2π соответствовал изменению интегральной электронной концентрации на пути распространения радиоволн на $\sim 1{,}5 \cdot 10^{12}$ эл/см^2. Эта цифра примерно соответствует данным, приведенным в английских публикациях о радиолокации Луны на частоте I20 Мгц.

Возможность подобных поляризационных федингов, вызываемых ионосферой, должна быть учтена при конструировании радиоаппаратуры для объекта "Е-I".

§ 5. Оценка общей погрешности измерений

I. Измерение дальности

Среднеквадратичная ошибка измерения дальности

$$\Delta r_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta r_{и})^2 + (\Delta r_c)^2 + (\Delta r_t)^2},$$

где

$\Delta r_{и}$ - составляющая ошибки за счет ионосферы,

Δr_c - ошибка за счет неточности определения константы "с",

Δr_t - ошибка измерения временного интервала.

В соответствии с § 4

$\Delta r_{и} \approx 5$ км ($\beta = 30 \div 40^{\circ}$, $r \approx 400$ т.км)

$\Delta r_{и} = 8{,}6$ км ($\beta = 10^{\circ}$, $r \approx 100$ т.км)

$\Delta r_c = 5{,}3$ км ($r = 400$ т.км)

$\Delta r_c = 1{,}3$ км ($r = 100$ т.км)

[redacted]

[redacted]

Инв. №015749

По оценке разброса времени ретрансляции (гл.Ш, § 2) $\Delta r_c \approx 6$ км.
Таким образом, в начале I-го сеанса (r = 100 т.км, $\beta = 10^0$)

$$\Delta r_\Sigma = \sqrt{8{,}6^2 + 1{,}33^2 + 6^2} = 10{,}6 \text{ км}$$

В конце 2-го сеанса (r = 400 т.км, $\beta = 30^0$)

$$\Delta r_\Sigma = \sqrt{5^2 + 5{,}33^2 + 6^2} = 9{,}45 \text{ км.}$$

2. Измерение скорости

Среднеквадратичная ошибка измерения скорости

$$\Delta \dot r_\Sigma = \sqrt{(\Delta \dot r\ )^2 + (\Delta \dot r_c)^2 + (\Delta \dot r_t)^2 + (\Delta \dot r_f)^2} .$$

По § 4 ионосферная ошибка

$$\Delta \dot r_и = 0{,}12 \text{ м/сек} \quad (\beta = 30^0 - 40^0, \quad r \sim 400 \text{ т.км})$$

$$\Delta \dot r_и = 0{,}30 \text{ м/сек} \quad (\beta = 10^0, \quad r \approx 100 \text{ т.км})$$

Ошибка измерения временного интервала

$$\Delta \dot r_t = 2 \dot r \frac{\delta \tau}{T_0} .$$

При погрешности измерения временного интервала $\delta\tau \leq 20$ мсек и $T_0 \geq 1$ сек. среднее значение $\Delta \dot r_t$ в течение I-го и 8-го сеансов $\Delta \dot r_t = 0{,}12$ мсек.

Ошибка за счет неточного знания скорости света "с" при $\dot r = 3000$ м/сек $\quad \Delta \dot r_c = 2\dot r \frac{\delta c}{c} \approx 0{,}08$ м/сек.

Ошибка за счет неточности установки номинала частоты

$$\Delta \dot r_{f_0} = 2\dot r \frac{\delta f_0}{f_0} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м/сек при } \dot r = 3000 \text{ м/сек}$$

$$\text{и } \frac{\delta f_0}{f_0} = 10^{-7} .$$

Таким образом, в начале I-го сеанса

[redacted]

$$\Delta \mathring{r}_\Sigma = \sqrt{0,3^2 + 0,08^2 + 0,12^2 + (6\cdot10^{-4})^2} = 0,33 \text{ м/сек}.$$

В конце 2-го сеанса

$$\Delta \mathring{r}_\Sigma = \sqrt{0,12^2 + 0,08^2 + 0,12^2 + (6\cdot10^{-4})^2} \approx 0,19 \text{ м/сек}.$$

Оценка точности измерения угловых координат дана в § 4 главы У.

[redacted]

Инв. № 015749

Глава II

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Как указывалось выше, в задачу системы контроля орбиты объекта "Е-I" входит измерение следующих параметров:

I/ дальности между объектом и Землей,

2/ дальности между объектом и Луной,

3/ скорости удаления объекта от Земли,

4/ двух углов – азимута и угла места, определяющих направление на объект.

Кроме того, радиолиния "борт-Земля" системы контроля должна обеспечивать передачу с объекта телеметрических сигналов двух видов :

I/ на активном участке полета третьей ступени изделия – сигналов от быстродействующей многоканальной телеметрической системы РТС-I2А; ✓

2/ на пассивной части орбиты объекта "Е-I" – сигналов от телеметрической системы РТС-I2Б. ✓

При выборе методов измерения параметров орбиты и передачи телеметрических данных для объекта "Е-I" превалирующее влияние оказывали не соображения оптимального способа передачи информации, а скорее требования максимального совмещения функций бортовой аппаратуры, одновременности передачи нескольких каналов и простоты технических решений.

Эти требования обусловлены весовыми и габаритными характеристиками контейнера "Е-I" и весьма ограниченными сроками разработки.

В этой связи выбраны следующие методы измерения.

Измерение дальности между объектом и Землей производится импульсным методом с использованием активного ответчика на борту. Этот метод позволяет простыми средствами получить требуемую точность измерения дальности. Чисто радиолокационный метод измерения / без использования активного ответчика/ в данной системе не может быть применен ввиду очень больших расстояний до объекта и малой отражающей его поверхности.

Для измерения дальности между объектом и Луной используется принцип радиоальтиметра. Импульсы ответа дальности бортового передатчика, отраженные от поверхности Луны, принимаются приемным устройством на объекте и ретранслируются на Землю по каналу ответа дальности.

Интервал времени между импульсами ответа дальности и отраженным импульсом характеризует расстояние между объектом и Луной.

Скорость удаления объекта от Земли определяется путем использования эффекта Допплера на несущей частоте. Сигнал непрерывного наземного передатчика принимается на объекте, где преобразуется по частоте и излучается бортовым ответчиком, аппаратурно совмещенным с ответчиком дальности. Принятый на Земле сигнал сравнивается с опорным,и выделяется приращение частоты, обусловленное эффектом Допплера и пропорциональное скорости движения объекта.

Угловые координаты объекта определяются методом равносигнальной зоны с использованием антенных устройств, работающих в режиме автослежения за объектом по углам. Бортовой ответчик играет при этом роль маяка. С целью повышения его средней мощности, что необходимо для повышения точности угловых измерений, интервалы между импульсами заполняются непрерывным излучением мощностью 10 вт.

[redacted]

Исходя из существующих возможностей, рационально использовать для угловых измерений два антенных устройства, одно из которых осуществляет автослежение по азимуту, другое – по углу места. Для обеспечения поворота антенны по тому углу, по которому не имеется автослежения, может быть применена либо синхронная связь её с другой антенной, либо автономное вращение от программного механизма или вручную.

Передача телеметрических данных системы РТС-12б осуществляется методом импульсно-временной модуляции, причем импульсы ответа дальности используются в качестве опорных.

Структурная схема системы радиоконтроля, построенной на основании описанных выше принципов измерения, приведена на рис. П.I.

На активном участке полета третьей ступени изделия 8К72 система контроля еще не функционирует. Бортовой ответчик используется для передачи телеметрических импульсных сигналов системы РТС-12А. Временная программа работы передатчика в этом режиме изображена на рис. П.2.

На пассивном участке полета объекта вплоть до падения на поверхность Луны система контроля имеет два режима работы :

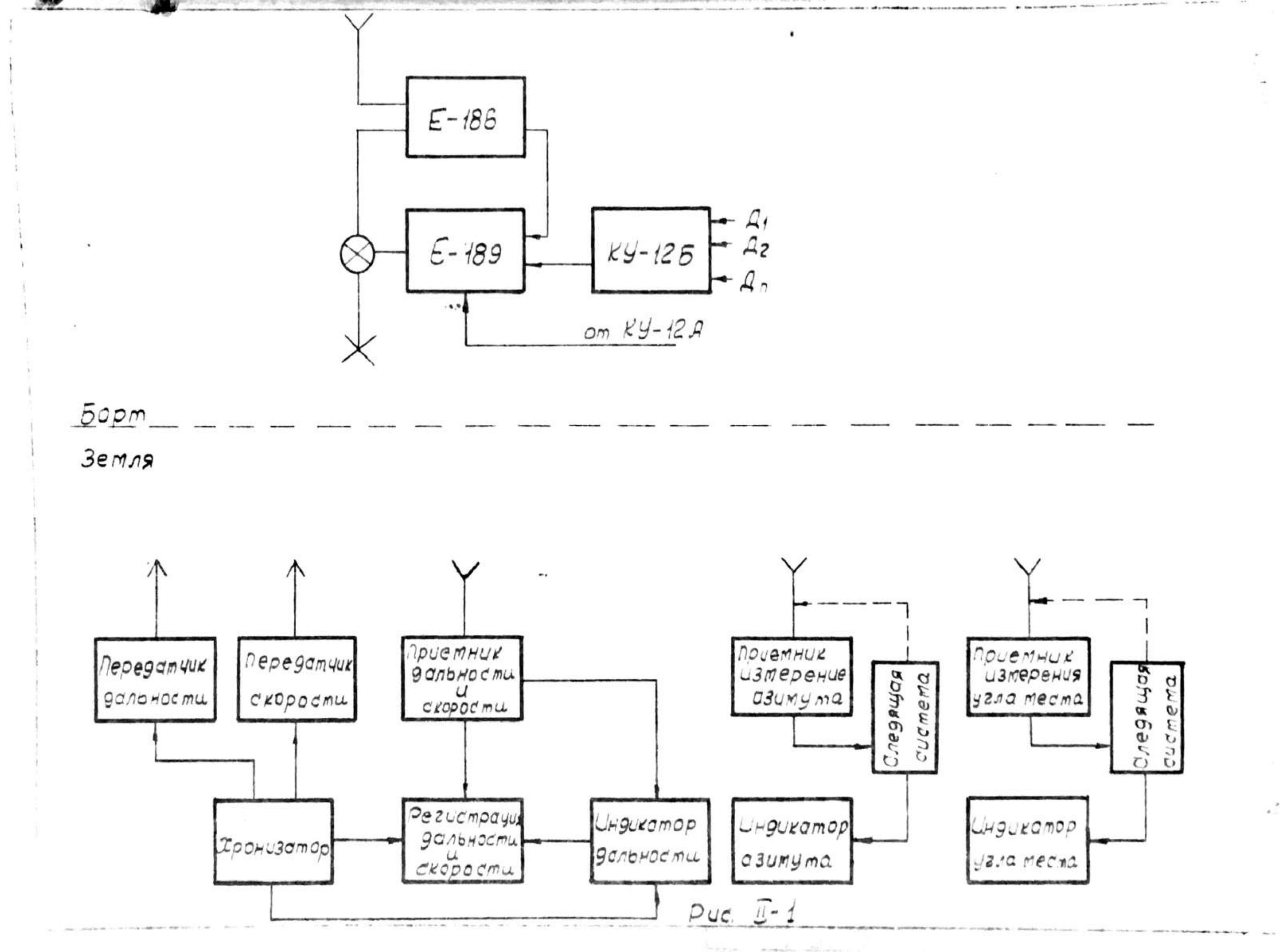
а/ режим импульсного запроса, при котором происходит измерение дальности до объекта и его угловых координат, работает радиоальтиметр и передаются сигналы телеметрии системы РТС-12Б;

б/ режим непрерывного запроса, служащий для измерения скорости объекта.

Объединение этих режимов по времени нецелесообразно, так как приводит к существенному усложнению бортовой аппаратуры и ухудшению её надежности.

Режим импульсного запроса является основным и занимает бо́льшую часть времени полета. В режим непрерывного запроса система

[redacted]


Е-186
Е-189
КУ-12Б
$Д_1$
$Д_2$
$Д_n$
от КУ-12А
Борт
Земля
Передатчик дальности
Передатчик скорости
Приемник дальности и скорости
Приемник измерение азимута
Следящая система
Приемник измерения угла места
Следящая система
Хронизатор
Регистрация дальности и скорости
Индикатор дальности
Индикатор азимута
Индикатор угла места
Рис. II-1

Инв №015749

переводится в те моменты времени, когда необходимо произвести измерение скорости объекта. Длительность каждого замера скорости составляет несколько секунд.

Рассмотрим функционирование системы контроля в режиме импульсного запроса. Временная программа работы показана на рис. П.3.

Импульсы запроса дальности, излученные наземным импульсным передатчиком на частоте 102 Мгц, принимаются приемным устройством запроса на объекте. Длительность импульсов запроса дальности - 200 мксек, частота повторения - 10 гц.

Бортовой передатчик постоянно излучает непрерывные колебания с частотой порядка 183,6 Мгц и мощностью 10 вт, получаемые от местного генератора, стабилизированного кварцем. Импульсы с выхода приемника после усиления и задержки во времени используются для модуляции передатчика, увеличивая его мощность до 100 вт.

После излучения импульса ответа дальности непрерывное излучение бортового передатчика снимается и отпирается нормально закрытый приемник радиоальтиметра для приема сигналов, отраженных от Луны. Если мощность отраженного сигнала достаточна, то происходит вторичный запуск бортового передатчика, который излучает на Землю импульс ответа Луны.

После прохождения отраженного импульса приемник радиоальтиметра запирается до начала следующего цикла и вновь включается непрерывное излучение передатчика.

Если отраженный от Луны импульс отсутствует, то запирание приемника альтиметра и включение непрерывного излучения происходит по истечении 40 мсек после импульса ответа дальности.

В промежутках между импульсами ответа дальности осуществляется передача телеметрических сигналов системы РТС-12Б. Полезная информация заложена во временном сдвиге измерительного импульса

[redacted]

Цель
Объект
Земля
t
Tзапр.
ответ дальности
ответ от цели
импульс телеметрии

Рис. II-3

относительно импульса ответа дальности. За каждый цикл работы системы/0,I сек./ передается информация одного канала телеметрии.

График временного цикла и структуры импульсной посылки системы РТС-I2Б показан на рис. П.4.

Импульсы, излученные бортовым передатчиком, принимаются на наземном пункте системы контроля и поступают на индикаторное устройство. Измерение временного интервала между запросным и ответным импульсами производится визуальным методом на индикаторе, а также с помощью устройства дискретного счета, включаемого в нужный момент времени.

Телеметрические сигналы записываются на фотопленку с целью последующей их расшифровки. Вся программа излучения бортового передатчика регистрируется с помощью магнитофона.

Определение угловых координат объекта производится по непрерывному излучению бортового передатчика. Напряжения с выхода приемных устройств поступают на синхронно-следящие системы, осуществляющие вращение каждой антенны по своему углу. С помощью двухканальной сельсинной передачи /грубой и точной/ значение угла поворота передается в индикаторное устройство. Кроме визуального отсчета по шкале, измерение точного значения угла производится при помощи устройства дискретного счета.

При переходе системы в режим измерения скорости наземный импульсный передатчик выключается и включается непрерывный передатчик, работающий на той же частоте.

При приеме непрерывного сигнала на борту местный генератор отключается от передатчика и разрывается цепь импульсной модуляции. Принятый сигнал претерпевает дробное преобразование по частоте в соотношении 9/5 и запускает передатчик. Таким образом, в этом режиме работы бортовой ответчик излучает непрерывный сигнал, часто-

[redacted]

[redacted]
Экз. № 5
Лист 1. Всл. листов

РТС-12Б

График временного цикла и структуры импульсной посылки радиотелеметрической системы

Временной цикл

1 2 3 4 5 6 7 8 9 11 13 15 17 18 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43 45 47 49 51 53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75 77 79 81 83 85 87 89 91 93 95 97 99 101 103 105 107 109 111 113 115 117 119 120 1 2 3 4 5

$T_c = 0,8$ сек

$T_ц = 96$ сек

Пауза

Условные обозначения

— Посылка импульсов синхронизации

— Пауза измерительных импульсов

— Пауза

$T_ц$ – Период временного цикла

T_c – Период синхронизирующих импульсных посылок

$T_{сп}$ – Длительность посылки синхронизирующих импульсов

$T_и$ – Длительность посылки измерительных импульсов

$T_п$ – Длительность посылки паузы

Структура посылки синхронизирующих импульсов

$T_{сп} = 0,8$ сек; τ = 0,1 сек; 45 мсек; 40 мсек; 1÷1,5 мсек

Структура посылки измерительных импульсов

$T_и = 0,8$ сек; 6 мсек; 2,1 сек

Структура посылки паузы

$T_п = 4$ сек

1. Количество каналов – 115
2. Количество опросов по каждому каналу – 8
3. В течение паузы измерения не передаются

Рис. II-4

та которого точно синхронизована с частотой принятого сигнала.

Значение выделенной на Земле частоты Доплера измеряется при помощи устройства дискретного счета.

В том случае, когда на вход бортового приемника не поступают сигналы запроса, или сам приемник вышел из строя, бортовой ответчик работает в режиме "самохода". Программа работы его совпадает с программой, показанной на рис. II.3. Разница заключается в том, что здесь импульсы ответа дальности не синхронизованы сигналами наземной аппаратуры, а вырабатываются бортовым импульсным генератором с частотой повторения, несколько меньшей частоты запроса.

При таком режиме работы могут производиться угломерные измерения, а также приниматься сигналы телеметрии. Вблизи Луны, при достаточной для запуска бортового импульсного передатчика величине сигнала на выходе альтиметрического приемника, возможно определение расстояния от объекта до Луны.

[redacted]

Инв. № 015749

Глава III

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА

§ 1. Блок-схема и принцип действия

Общая блок-схема бортовой радиоаппаратуры контроля орбиты приведена на рис. III.1. Рассмотрим принцип действия бортовой аппаратуры в различных ее режимах.

а/ Режим активного участка траектории

На активном участке траектории /третьей ступени/ на модулятор передатчика с блока КУ-12А, размещенного в корпусе третьей ступени, через отрывной штеккер поступает импульсная программа /рис. II.2/ телеметрической системы РТС-12-А. Излучение передатчика производится через выносную антенну, размещенную на корпусе третьей ступени изделия 8К72. Взаимодействие бортовой аппаратуры соответствует схеме рис. III.2. При отделении контейнера от корпуса третьей ступени 8К72 программа от РТС-12-А отключается при разрыве отрывного штеккера контейнера. Одновременно выход передатчика переключается с корпусной антенны на антенну контейнера.

б/ Режим начала пассивного участка траектории

В начале пассивного участка траектории об"ект "Е-1" находится вне пределов видимости с основного наблюдательного наземного пункта, поэтому на вход приемного устройства не поступают сигналы запроса дальности или скорости. При этом импульсный генератор

[redacted]

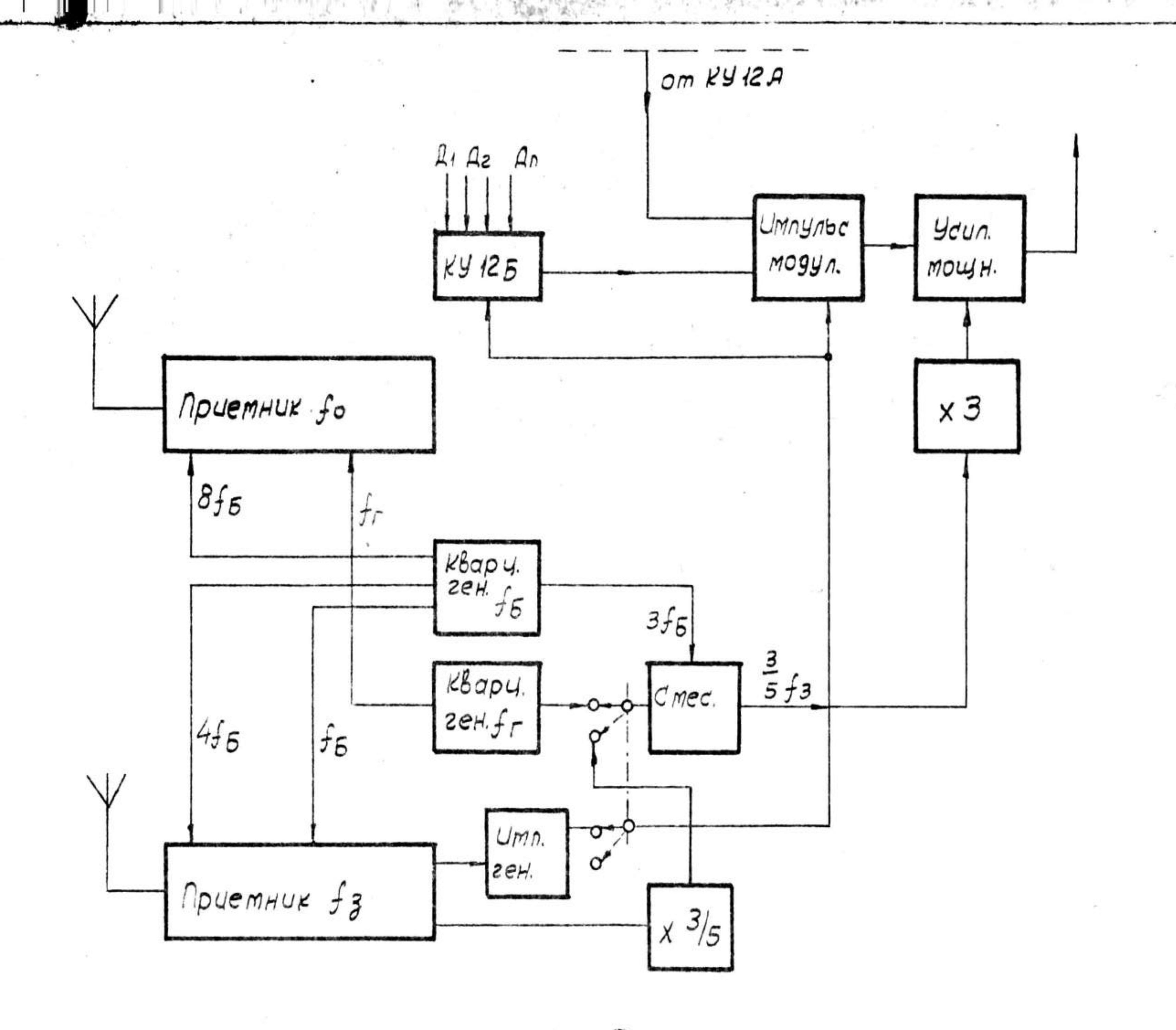

от КУ 12А
Д1 Д2 Дп
КУ 12Б
Импульс модул.
Усил. мощн.
х 3
Приемник f_0
$8f_Б$
$f_Г$
Кварц. ген. $f_Б$
Кварц. ген. $f_Г$
$3f_Б$
Смес.
$\frac{3}{5} f_З$
$4f_Б$
$f_Б$
Имп. ген.
Приемник $f_З$
х 3/5

Рис. III-1

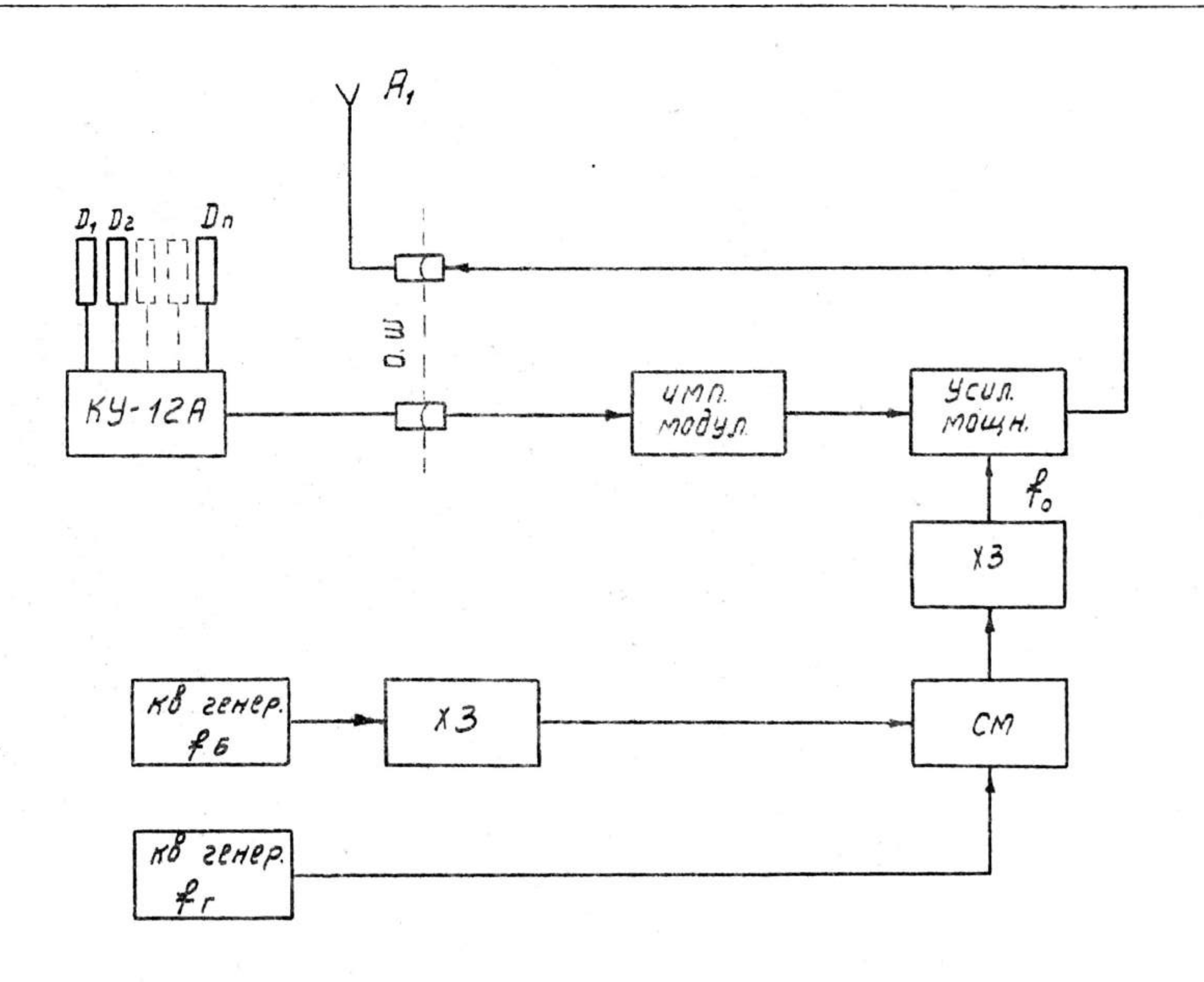

A1
D1 D2 Dn
КУ-12А
о.ш
имп. модул.
усил. мощн.
f0
Х3
кв генер. fб
Х3
СМ
кв генер. fг

Рис. III-2

"самохода" генерирует несинхронизованные импульсы с частотой, несколько меньшей рекурретной частоты запроса. Эти импульсы /см. рис. Ш.3/ поступают на блок КУ-12-Б телеметрической системы пассивного участка РТС-12-Б, где используются в качестве опорных.

На модулятор передатчика поступают импульсы самоходного генератора и времямодулированные импульсы от РТС-12-Б. Программа излучения передатчика в этом случае соответствует рис. П.4.

в/ Режим измерения дальности Земля - "Е-1"

При расстояних 100÷200 тыс.км и более 300 тыс.км об"ект "Е-1" находится в зоне видимости основного наземного пункта. В этом случае бортовое приемное устройство принимает импульсы запроса дальности на несущей частоте 102 Мгц.

Функциональная схема бортового устройства в этом режиме соответствует рис. Ш.4.

Импульсы запроса дальности с видеоусилителя приемного устройства синхронизуют генератор импульсов "самохода", откуда импульсы поступают на импульсный модулятор передатчика и затем переизлучаются на частоте 183,6 Мгц. Одновременно импульсы запроса дальности выдаются в телеметрический блок КУ-12Б, где используются так же, как и в режиме δ, в качестве опорных. Измерительные телеметрические импульсы, привязанные к импульсам запроса дальности, поступают на импульсный модулятор в интервале между импульсами запроса дальности. При работе бортовых устройств в импульсном режиме канал ретрансляции частоты запроса скорости отключен от смесителя коммутирующим каскадом.

Программа излучения передатчика в этом случае соответствует рис. П.3.

[redacted]

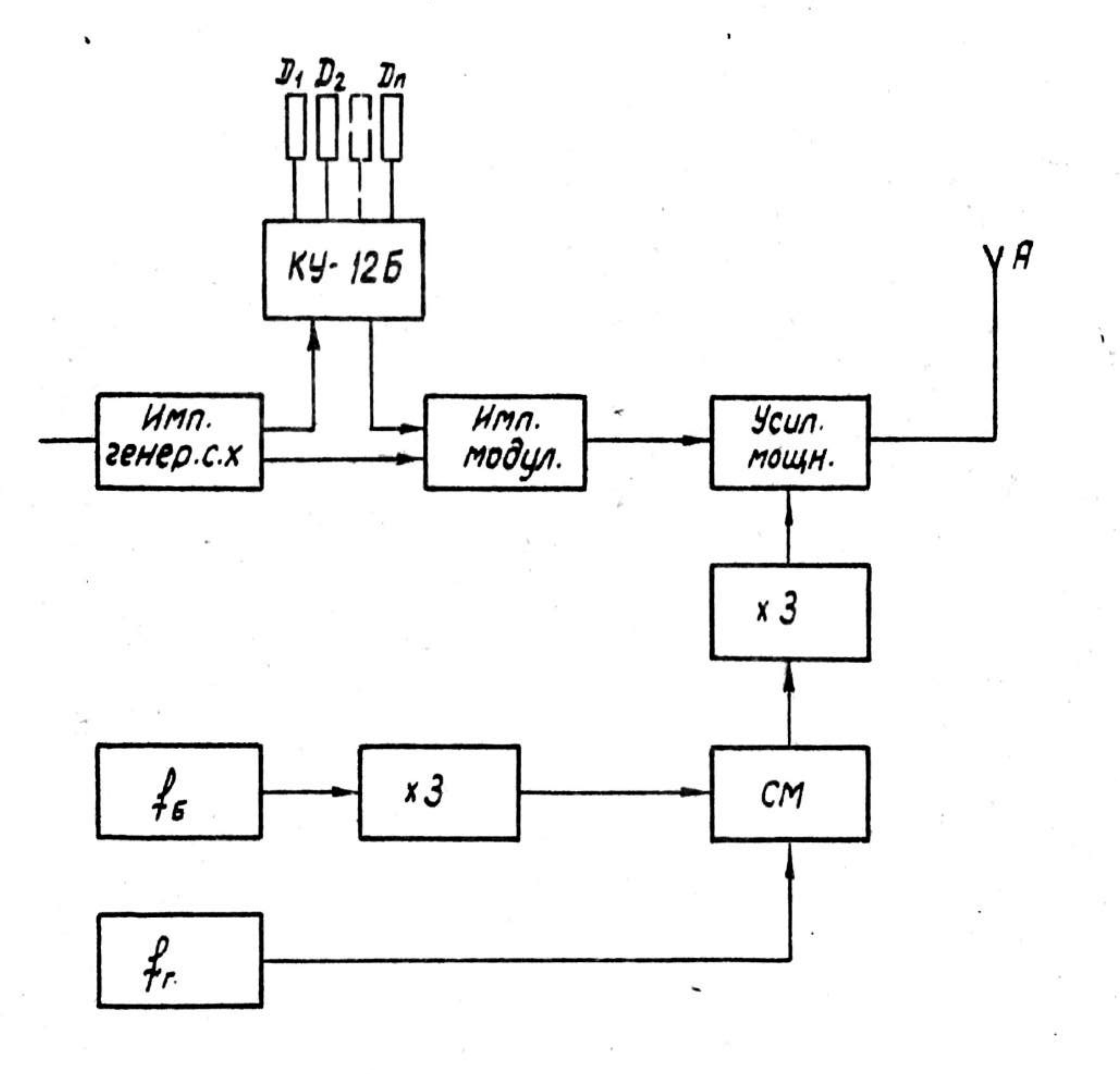


Рис. III-3

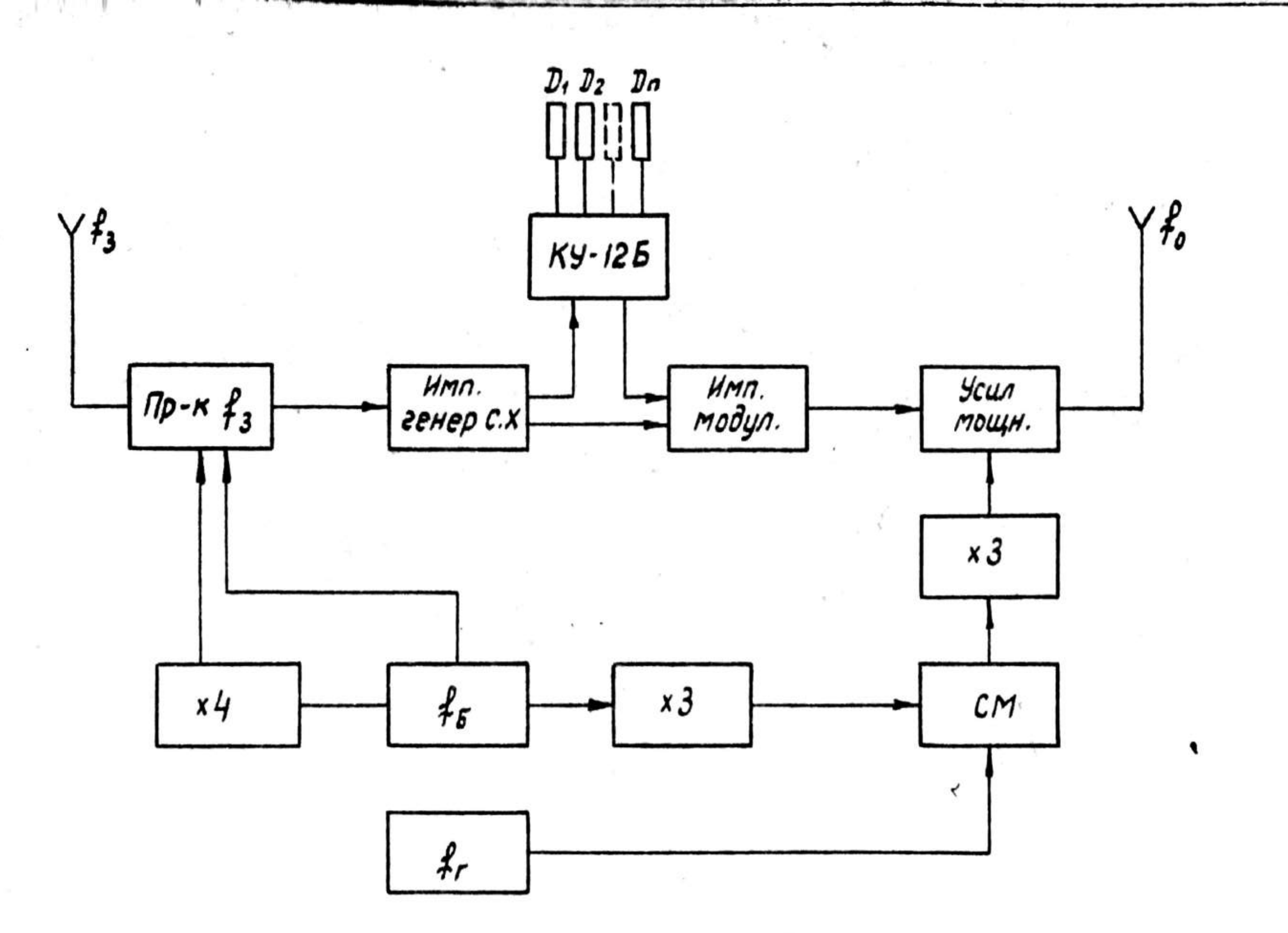

D1 D2 Dn
КУ-12Б
f3
f0
Пр-к f3
Имп. генер С.Х
Имп. модул.
Усил мощн.
х3
х4
fб
х3
СМ
fг

Рис. III-4

г/ Режим измерения дальности "Е-1" - Луна

При сближении объекта "Е-1" с Луной на расстояния меньше 4÷3 тыс.км мощность эхо-сигналов бортового передатчика, отраженных поверхностью Луны, становится достаточной для срабатывания бортового приемника альтиметра, настроенного на частоту 183,6 Мгц. Временная программа стробирования бортовых устройств построена таким образом, что приемник альтиметра открывается после излучения бортовым передатчиком на 40 мсек. На то же время срывается непрерывное излучение передатчика. Таким образом, бортовым приемником альтиметра без помех от бортового передатчика могут быть приняты эхо-импульсы от целей, находящихся на расстоянии, равном дальности распространения радиволн за время, равное половине длительности стробимпульса.

Принятые эхо-импульсы с выхода альтиметрического приемника поступают на импульсный модулятор передатчика /рис. Ш.5/ и ретранслируются на Землю.

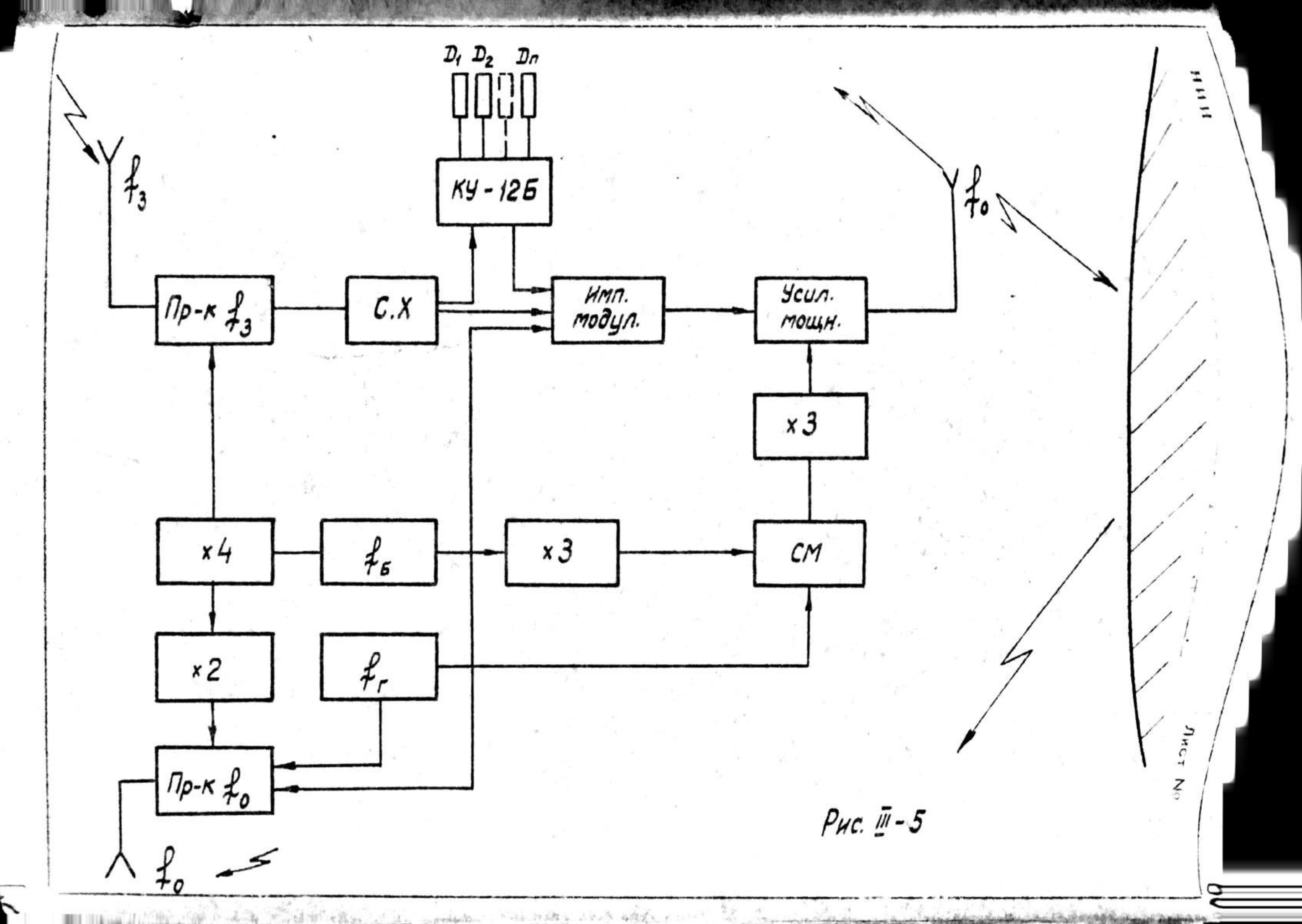
д/ Режим измерения скорости

Измерение скорости предполагается производить на нескольких заранее выбранных дискретных участках траектории.

Измерение на каждом участке производится в течение нескольких секунд /см. гл.1У, § 3/.

При измерении скорости на наземном пункте выключается импульсный запрос дальности и передатчик посылает немодулированный сигнал запроса скорости на частоте 102 Мгц. Принятый бортовым приемным устройством запрос скорости вызывает срабатывание ключевого каскада, включенного на выходе схемы Ш-О-У. Напряжение ключевого каскада переключает вход смесителя с кварцевого гетеродина на

[redacted]



D_1 D_2 D_n
КУ-12Б
$f_з$
$f_о$
Пр-к $f_з$
С.Х
Имп. модул.
Усил. мощн.
х3
х4
$f_б$
х3
СМ
х2
$f_г$
Пр-к $f_о$
$f_о$
Лист №

Рис. III-5

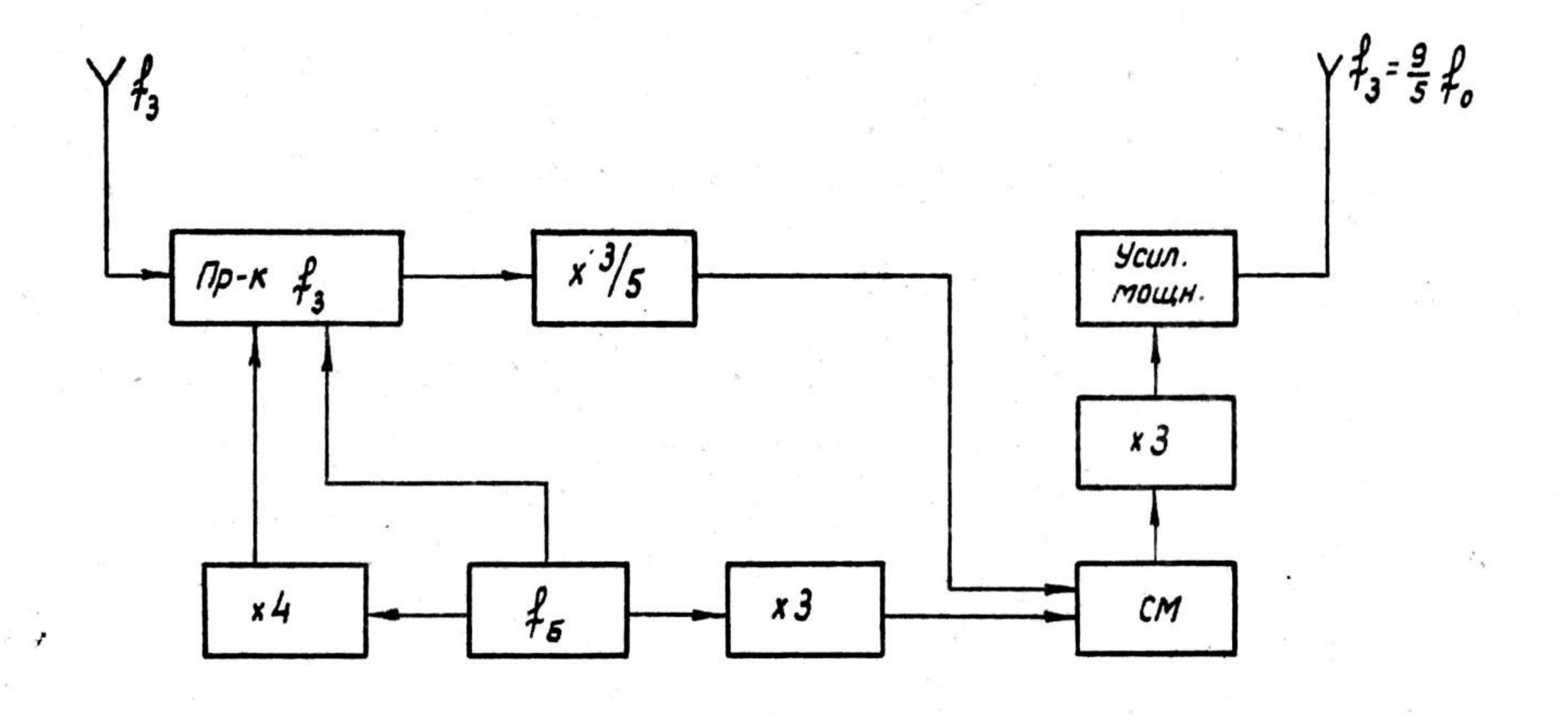


Рис. III:5а

дробный умножитель (рис. Ш.5а).

При этом бортовой передатчик излучает немодулированный сигнал $f_o = \frac{9}{5} f_з$. Ретранслированная в таком отношении частота запроса скорости используется для измерения скорости методом Допплера.

§ 2. Приемник сигналов запроса

а/ Назначение и основные технические требования

Бортовое приемное устройство запросов предназначено для приема импульсных сигналов запроса дальности на несущей частоте $f_з$ = 102 Мгц при $\tau_и$ = 200 мксек и немодулированных сигналов запроса скорости той же частоты. Минимальная мощность принимаемых сигналов в импульсе – 10^{-13} вт, в непрерывном режиме – 10^{-14} вт.

В случае импульсного запроса на выходе приемного устройства должен формироваться видеоимпульс с амплитудой $U_{вых}$ =10÷15в, используемый для синхронизации импульсного модулятора передатчика.

При немодулированном запросе напряжение на выходе приемного устройства должно представлять собой синусоидальное напряжение с частотой $f = \frac{3}{5} f_з$ и амплитудой 5 ÷ 10 в, используемое в качестве задающей частоты передатчика при работе последнего в режиме немодулированного ответа скорости.

Переключение режимов ретрансляции импульсного и непрерывного запросов должно совершаться автоматически при изменении вида запроса.

Для уменьшения разброса временных задержек импульса дальности в приемнике должна быть применена автоматическая регулировка усиления, работающая по амплитуде импульсов.

[redacted]

При сближении об"екта "Е-1" с Луной на расстояних порядка 1000 км на вход приемника запросов, помимо прямого сигнала запроса, будут поступать также эхо-импульсы запроса, отраженные от поверхности Луны. В силу этого в схеме приемного устройства должна быть предусмотрена защита от этих ложных импульсов, которые могут сбить бортовую импульсную программу.

б/ Описание блок-схемы

Блок-схема бортового приемного устройства приведена на рис. Ш.6. Общий коэффициент усиления приемного устройства в режиме запроса дальности

$$K_{общ} = \frac{U_{вых}}{\sqrt{P_{сигн\ min}\ 2R_{вх}}} \approx 5.10^6 .$$

Для получения устойчивого усиления и малого уровня флюктуационных шумов основное усиление ведется на частоте запроса $f_з$ на двух промежуточных частотах: $F_{11} = 15{,}6$ Мгц и $F_{12} = 6$ Мгц.

Требуемая ширина полосы / $\Delta F = 8.10^3$ гц/ обеспечивается кварцевым фильтром во втором УПЧ.

Для уменьшения расстроек гетеродинные частоты стабилизированы кварцем, работающим на частоте $f_Б = 21{,}6$ Мгц.

$$F_{11} = f_з - 4 f_Б$$

$$F_{12} = f_Б - F_{11} .$$

Детектированные импульсы после усиления служат для синхронизации транзитронного генератора, имеющего собственную рекуррентную частоту несколько ниже рекурретнтной частоты запросных импульсов.

[redacted]

Блок-схема прибора Е-186

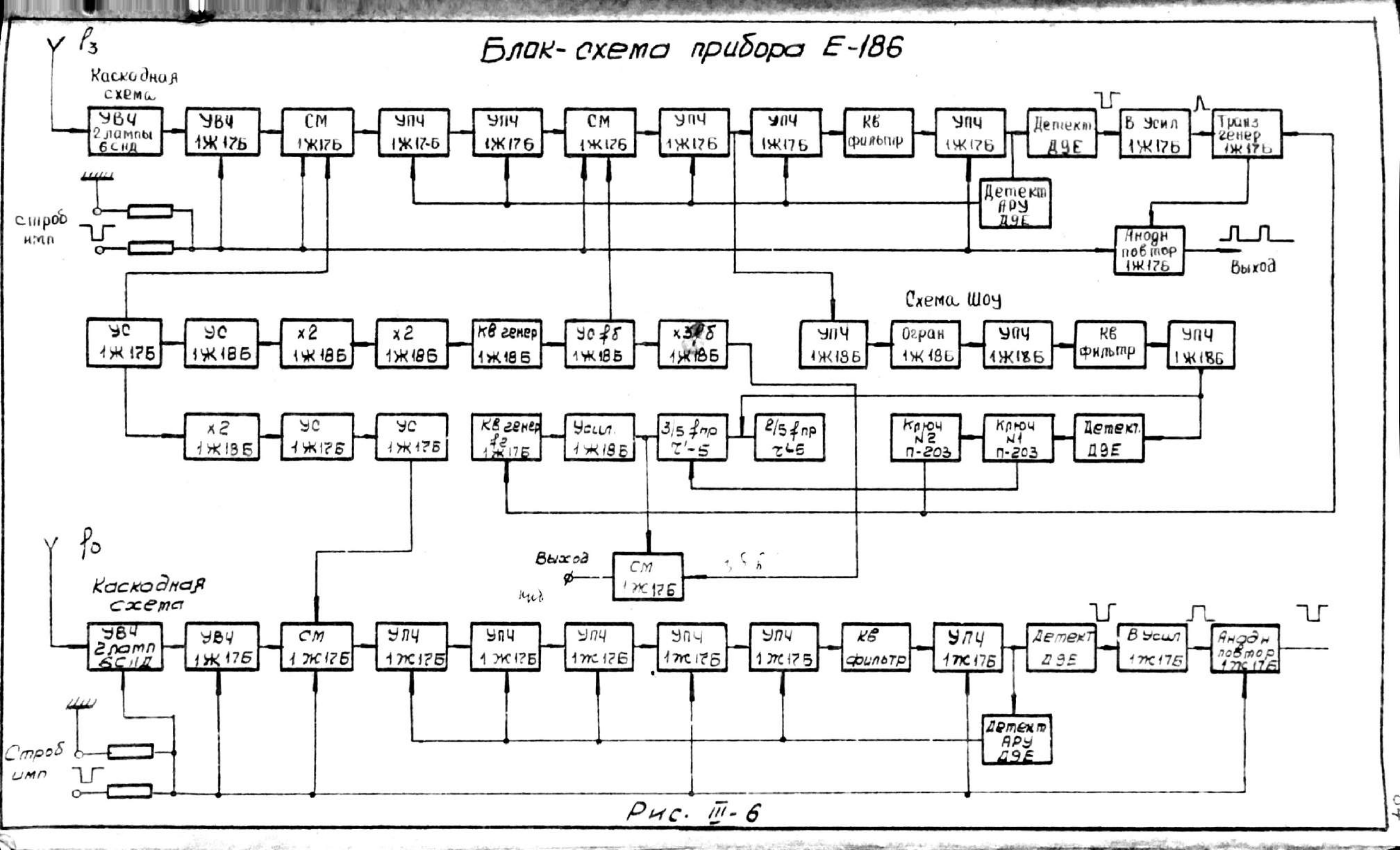


Рис. III-6

При отсутствии приема импульсов запроса дальности с экранной сетки транзитронного генератора снимаются несинхронизированные импульсы, которые обеспечивают работу импульсного передатчика и системы РТС-12-Б в режиме "самохода".

В режиме немодулированного запроса скорости в бортовом приемном устройстве происходит преобразование частоты запроса по следующей схеме:

на выходе 1-го смесителя

$$F_{11} = f_з - 4f_Б ;$$

на выходе 2-го смесителя

$$F_{12} = (f_з - 4f_Б) - f_Б .$$

После усиления частота F_{12} поступает на регенеративный дробный умножитель и после умножения 3/5 преобразуется 3-м смесителем, в качестве гетеродинной частоты которого используется утроенная частота кварцевого генератора $f_Б$

$$3f_Б - \frac{3}{5} F_{12} = \frac{3}{5} f_з .$$

Частота $\frac{3}{5} f_з$ после утроения служит задающей частотой передатчика. Таким образом, полная схема преобразований частоты может быть записана формулой

$$\left\{ \left[f_Б - (f_з - 4f_Б) \right] \frac{3}{5} - 3f_Б \right\} 3 = \frac{9}{5} f_з = f_o ,$$

из которой видно, что все гетеродинные частоты в процессе преобразования исключаются и бортовой передатчик возбуждается частотой, связанной с частотой задающего генератора наземного передат-

[redacted]

чика коэффициентом $m = \frac{9}{5}$.

При выключении запроса скорости на вход 3-го смесителя поступает частота дополнительного кварцованного генератора

$$f_г \approx \frac{3}{5} F_{12} = 3,6 \text{ Мгц}.$$

Частота излучения бортового передатчика в этом случае

$$f_0' = [3f_Б - f_г) 3 \approx \frac{9}{5} f_з .$$

Переход от режима ретрансляции импульсов дальности к режиму ретрансляции немодулированного запроса скорости требует: во-первых, переключения входа 3-го смесителя с генератора частоты $f_г$ на дробный умножитель, во-вторых, выключения импульсной программы, хронизирующей совместную работу бортовых приемников, передатчика и телеметрии в режиме запроса дальности или "самохода".

В качестве команды, управляющей сменой режима работы бортовой аппаратуры, используется изменение спектра сигнала при смене рода запроса.

Немодулированный сигнал запроса скорости со 2-го УПЧ ответвляется в схему Ш-О-У, на выходе которой детектируется. Постоянное напряжение с детектора управляет ключевой схемой, имеющей заданный порог срабатывания. Порог выбирается таким образом, чтобы при энергетических соотношениях, имеющих место в радиолинии запросов, ключ срабатывал только от немодулированного сигнала запроса скорости. Защита от импульсов запроса дальности и флюктуационных шумов осуществляется схемой Ш-О-У.

Напряжение с ключевой схемы используется для коммутации входа 3-го смесителя и срыва колебаний генератора импульсов "самохода",

[redacted]

Инв. № 015749

импульсы которого являются пусковыми для бортовой импульсной программы.

в/ Основные параметры приемника запросов

Частота настройки

Частота запросов $f_з$ = 102 Мгц. Частота приемного сигнала $f'_з$ отличается от $f_з$ на величину, обусловленную эффектом Допплера.

График изменения скорости об"екта "Е-1", соответствующий варианту траектории ИПМ АН СССР, приведен на рис. Ш.7. Диапазон изменения скорости "Е-1" в течение 1-го и 2-го сеансов видимости с основного наземного пункта контроля /Крым/ заключается в пределах 3000-2000 м/сек.

$$f'_з \approx f_з \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

$f'_{з\,min}$ = 101,998980 Мгц при v_{max} = 3000 м/сек,

$f'_{з\,max}$ = 101,999330 Мгц при v_{min} = 2000 м/сек.

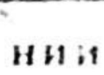
Настройку бортового приемного устройства целесообразно производить на среднее значение $f'_{з\,ср}$ = 101,999150 Мгц, введя разницу δf_D = 340 гц в полосу приемного устройства.

Коэффициент усиления, шумфактор

Общий коэффициент усиления в режиме запроса равен $5 \cdot 10^6$. Для обеспечения устойчивости основное усиление ведется на 3 частотах - несущей $f'_з \approx$ 102 Мгц и двух промежуточных F_{11}=15,6 Мгц и F_{12} = 6 Мгц.

Низкий уровень флюктуационных шумов достигается применением на входе УВЧ каскодной схемы на дисковых триодах типа 6С11Д. При этом обеспечивается значение шумфактора n = 5 ÷ 7. Распределение усиления по частотам следующее:

[redacted]



$\dot{i}\cdot 10^{-3}$

$\tau\cdot 10^{-3}$

I

II

Рис. III-7

Инв. № 015749

102 Мгц - 100,
15,6 Мгц - 100,
6 Мгц - 500-1000.

Автоматическая регулировка усиления

Требования к схеме АРУ вытекают из необходимости обеспечения малых разбросов времени ретрансляции. Изменение уровня входных сигналов с изменением расстояния составляет

$$\frac{U_{\text{вх max}}}{U_{\text{вх min}}} \approx 4 .$$

Изменения поля при вращении об"екта, обусловленные формой диаграммы бортовой приемной антенны, составляют

$$\frac{E_{max}}{E_{min}} \approx 2,5.$$

Таким образом, общее колебание входного сигнала может достигать 20 дб.

Влияние изменений амплитуды выходного видеоимпульса, синхронизующего импульс ответа дальности, может быть приближенно оценено формулой

$$\Delta\tau = \tau_{ф} \frac{1-k}{\ell k} ,$$

где /см. рис. Ш.8/

$$k = \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{вых min}}}$$

$$\ell = \frac{U_{\text{вых min}}}{U_{\text{син}}},$$

$U_{\text{син}}$ - уровень амплитуды, обеспечивающий запуск импульса ответа,

$\tau_{ф}$ - длительность фронта видеоимпульса запроса.

[redacted]

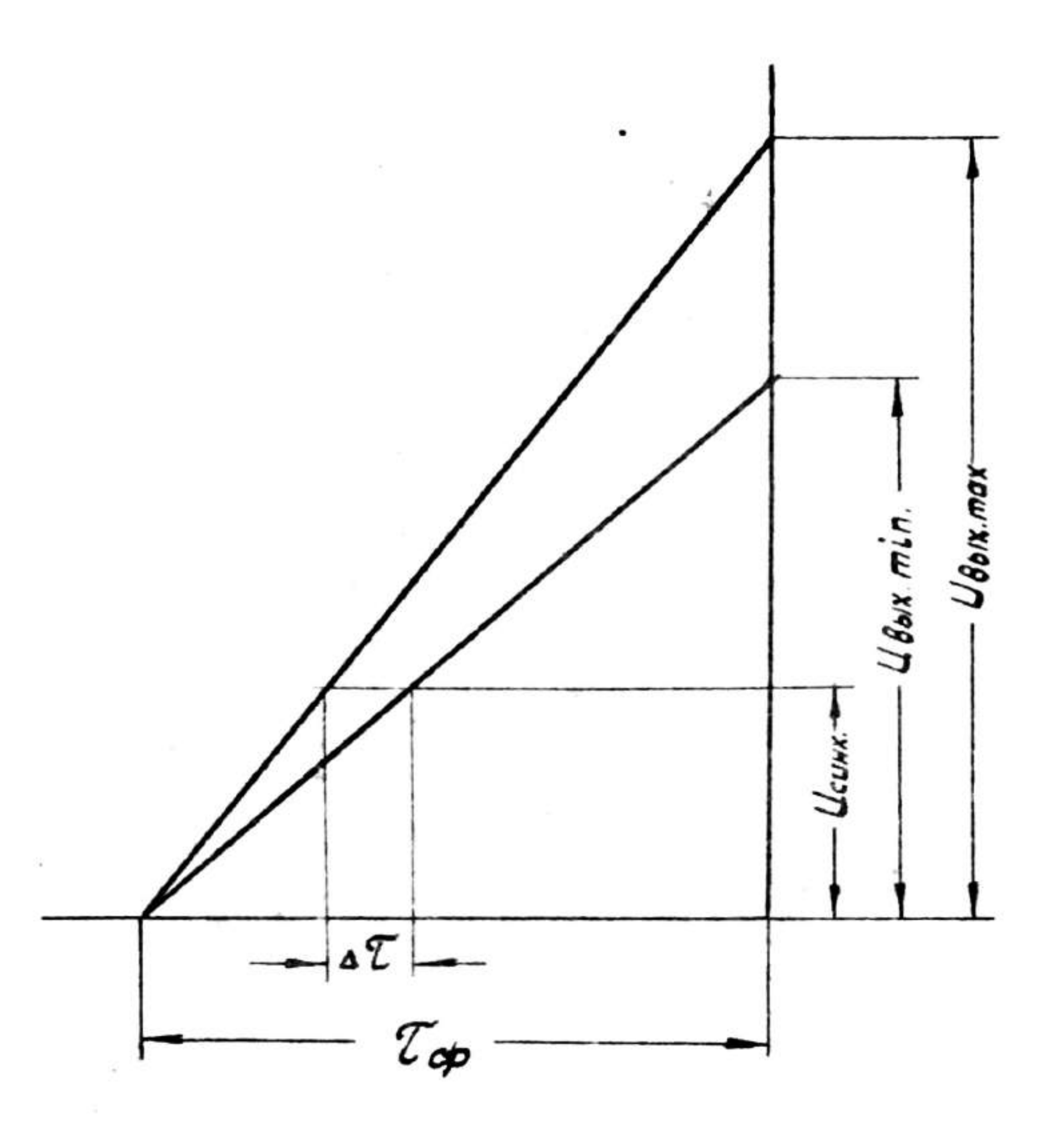


Рис. III - 8

Инв. 015749

Задаваясь уровнем запуска 0,5 / $\ell = 2$/ и допуская $\Delta\tau$ = 30 мксек, что эквивалентно ошибке измерения дальности из-за нестабильности ретрансляции в 4,5 км, сравнимой по величине с ошибкой из-за незнания точного значения скорости распространения в пустоте, получим

К - 1,4 или 3 дб.

Таким образом, АРУ приемного устройства должно обеспечить изменение выходного сигнала на величину не более 3 дб при изменениях на входе до 20 дб.

Ширина полосы

Требуемая ширина полосы в режиме приема импульсов обеспечивается кварцевым фильтром на выходе 2-го УПЧ.

В соответствии со схемой гетеродинирования, принятой для приемного устройства,

$$F_{12} = f_Б - (f_з - 4f_Б) = 5f_Б - f_з$$

$$\Delta F_{12} = |\Delta f_и| + |5\Delta f_Б| + |\Delta f_з| .$$

Произведем оценку составляющих:

$$\Delta f_и \approx \frac{1}{\tau_{ф}} \geqslant 5 \cdot 10^3 \text{ гц} ,$$

$$5\Delta f_Б = 5f_Б K_t \cdot \Delta t ,$$

где

K_t - т.к.ч. кварца,

Δt - перепад температуры.

При проектировании генератора, задающего частоту $f_Б$, рассматриваются два варианта.

1 вариант

Изготовление кварцевого резонатора с повышенной температурной

[redacted]

стабильностью $K_t < 5.10^{-7}$ гц/град, при этом кварцевый генератор не будет термостатирован и Δt соответствует условиям, обеспечиваемым системой терморегулирования контейнера "Е-1", т.е. $\Delta t = 40^{\circ}C$.

П вариант

Если кварцевый резонатор с $K_t < 5.10^{-7}$ сконструировать не удастся, то будет применен стандартный кварц, который в вакуумном исполнении обычно имеет $K_t \approx 2.10^{-6}$ гц/град. В этом случае в приемном устройстве может быть примерено простейшее термостатирование, обеспечивающее снижение Δt до $10^{\circ}C$ / $\pm 5^{\circ}C$/.

Таким образом, независимо от варианта

$$5 f_б K_t \Delta t \approx 2.10^3 \text{ гц} .$$

Нестабильность частоты запроса

$$\Delta f_з = k f_з + \delta f_D ,$$

где $K = 10^{-6}$ – общий коэффициент стабильности наземного передатчика.

Изменение частоты запроса вследствие допплеровского смещения

$$\delta f_D = f_з \frac{v_{max} - v_{min}}{c} .$$

В соответствии с приведенными выше данными $\delta f_D \approx 340$ гц. Таким образом, общая полоса канала запроса дальности в бортовом приемном устройстве $\Delta F_{12} = 8$ кгц.

Ширина полосы канала измерения скорости

В режиме приема немодулированной несущей полоса приемного устройства определяется выходной полосой схемы Ш-О-У

$$\Delta F'_{12} = \left| 5 \Delta f_б \right| + \left| k f_з \right| + \left| \delta f_D \right| .$$

[redacted]

Требуемое значение $\Delta F'_{12}$ отличается от соответствующего значения при импульсном приеме на $\Delta f_{и} = 5.10^{3}$, т.е. $\Delta F'_{12} = 3$ кгц.

Защита от эхо-импульсов запроса

Соотношение мощностей прямого импульса и эхо-импульса запроса дальности на входе приемного устройства может быть подсчитано из выражений

$$P_{эхо} = P_{из} \frac{G_{з}\,\eta_{з}}{4\pi\, r_1^2} \frac{S_{эфф\,л}}{4\pi\, r_2^2} \frac{G_{1б}\,\eta_{1б}\,\lambda_{з}^2}{4\pi},$$

$$P_{сигн.} = P_{из} \frac{G_{з}\,\eta_{з}}{4\pi\, r_3^2} \frac{G_{1б}\,\eta_{1б}\,\lambda_{з}^2}{4\pi}$$

r_1 - расстояние Земля-Луна,

r_2 - расстояние "Е-1"-Луна,

r_3 - расстояние Земля-"Е-1"

$$\frac{P_{сигн}}{P_{эхо}} = \frac{r_1^2\; r_2^2}{r_3^2} \frac{4\pi}{S_{эфф\,л}} .$$

При сближении $r_1 \approx r_3$

$$\frac{P_{сигн}}{P_{эхо}} \approx \frac{4\pi\; r_2^2}{S_{эфф\,л.}} . \qquad (III.1)$$

[redacted]

Инв. №015749

Отношения $\frac{P_{сигн}}{P_{эхо}}$ для различных расстояний, оцененные по /Ш.1/, сведены в табл. Ш.1.

Таблица Ш.1

r_2 [км]	10000	6000	3000	2000	1000	500	100
$\frac{P_{сигн}}{P_{эхо}}$	300	108	27	12	3	0,75	0,3
τ /мсек/	67	40	20	13,3	6,7	3,3	0,67

Из данных табл. Ш.1 следует, что непосредственно после прохождения импульса запроса приемник запросов должен закрываться как минимум на время, соответствующее запаздыванию эхо-импульса при $r_2 = 6000$ км.

Приведенные данные показывают также, что ретрансляция запроса скорости при $r_2 < 1000$ будет искажаться эхо-сигналом от Луны.

§ 3. Приемник альтиметра

а/ Назначение и основные технические требования

Приемное устройство альтиметра предназначено для приема импульсных эхо-сигналов на частоте бортового передатчика $f_0 = 183,6$ Мгц. Длительность переднего фронта эхо-сигнала $\tau_{фф} = 200$ мксек. Минимальная мощность принимаемых сигналов 10^{-16} вт / $r_2 \approx 3000$ км/. На выходе приемного устройства должны формироваться пусковые импульсы с амплитудой $U_{вых} = 10 \div 15$ в, поступающие затем в импульсный модулятор передатчика.

Диапазон изменения мощности входного сигнала составляет $40 \div 50$ дб; следовательно, для уменьшения разброса задержек ретрансляции в приемном устройстве должно быть предусмотрено весьма эффективное автоматическое регулирование усиления.

[redacted]

В соответствии с выбранным принципом измерения высоты об"екта "Е-1" над поверхностью Луны приемное устройство работает на одной и той же частоте с бортовым передатчиком, поэтому в приемном канале должна быть предусмотрена эффективная защита от излучения передатчика, создающего опасные перегрузки входных ламп, и от импульсного самовозбуждения в кольце передатчик-антенна-приемник-передатчик.

б/ Описание блок-схемы

Блок-схема приемника альтиметра приведена на рис. Ш.6.

Для обеспечения приема малых сигналов мощностью 10^{-16} вт при полосе, обеспечивающей воспроизведение фронта импульса $\tau_{ф}$ = 200 мксек, на входе приемного устройства применен 3-каскадный малошумящий УВЧ, в котором первые два каскада собраны по схеме заземленной сетки с нейтрализацией. Основное усиление производится на двух промежуточных частотах:

F_{21} = 10,8 Мгц и F_{22} = 7,2 Мгц.

Требуемая полоса / $\Delta F = 8.10^{3}$ гц/ обеспечивается 2-кварцевым фильтром во 2-м УПЧ.

Для уменьшения взаимных расстроек передатчика и приемника и упрощения общей схемы бортового устройства в качестве гетеродинных частот используются преобразованная частота базового генератора $f_Б$ и частота дополнительного генератора $f_Г$

$$F_{21} = f_o - 8 f_Б$$

$$F_{22} = F_{21} - f_Г \quad .$$

[redacted]

После детектирования и усиления видеоимпульсы формируются в пусковые импульсы, поступающие затем в хронизатор передающего устройства. Так как энергетический баланс радиолинии альтиметра обеспечивает начало работы только при расстоянии до Луны $< 3 \div 4$ тыс.км, приемник альтиметра стробируется на 40 мсек после излучения импульса ответа дальности.

Приход эхо-импульса ранее конца стробирующего импульса вызывает соответствующее укорачивание длительности последнего. Таким образом, приемный канал альтиметра открыт до сближения с целью /$r_0 > 6000$ км/ на 40 мсек, а при дальнейшем уменьшении расстояния – на время от конца излучения импульса ответа дальности до прихода первого после ответа дальности эхо-импульса.

Стробирующий импульс формируется в хронизаторе передатчика, управляемом импульсами запроса дальности. Временная программа работы альтиметра приведена на рис. Ш.9.

в/ Обоснование основных параметров

Частота настройки

Частота принимаемого сигнала

$$f_o' = f_o\left(1 + \frac{2v}{c}\right),$$

где $v = 2000 \div 2700$ м/сек – скорость об"екта "Е-1" при сближении с целью /см. рис. Ш.8/.

Настройку приемного канала альтиметра целесообразно производить на среднее значение скорости сближения $v_{cp} = 2300$ м/сек

$$f_o' = 183{,}602520 \text{ Мгц},$$

введя разницу

$$\delta f_D = f_o \frac{2(v_{max} - v_{min})}{c} \approx 860 \text{ гц}$$

в полосу УПЧ.

[redacted]

от пр-ка запроса
100 мсек
Задержка
Диф. цепь
от пр-ка альтиметра
задержка
Диф. цепь
от Р.Т.С.„Б"
смеситель
задержка
Диф. цепь
импульсы пер-ка
Стробы на пр-ки
Задержка
Диф. цепь
Закрывание пр-ка запроса и пер-ка
Открывание пр-ка альтиметра
Работа пер-ка

Рис. III - 9

Инв. № 015749

Автоматическое регулирование усиления

Энергетический расчет радиолинии альтиметра, приведенный в главе 1, дает при сближении с целью

$$\frac{U_{вх\ max}}{U_{вх\ min}} \approx 250 \quad (\sim 48\ дб) .$$

Модуляция уровня за счет диаграмм антенн /см. § 5/ составляет 2÷3 по полю. Таким образом, общее изменение уровня входного сигнала может достигать 50 дб.

На основании оценок, проведенных выше для приемного устройства запросов, изменение амплитуды выходного импульса не должно превышать 3 дб.

Постоянная времени цепи АРУ должна быть выбрана значительно больше периода повторения импульсов ответа дальности и меньше периода вращения об"екта "Е-1", диапазон возможных значений которого в настоящее время уточняется.

Ширина полосы

Полоса приемного устройства альтиметра в основном определяется полосой кварцевого фильтра во втором УПЧ.

В импульсном режиме излучаемая бортовым передатчиком частота задается кварцованными гетеродинами

$$f_0 = (3\ f_Б - f_Г)\ 3 .$$

Первая промежуточная частота

$$F_{21} = f_0 - 8f_Б = f_Б - 3\ f_Г .$$

[redacted]

Вторая промежуточная частота

$$F_{22} = F_{21} - f_г = f_Б - 4\ f_г$$

$$\Delta F_{22} = |\Delta f_И| + |\Delta f_Б| + |4\Delta f_г| + |\delta f_D|$$

$$\Delta f_И \approx \frac{1}{\tau_\varphi} \geq 5.10^3 \ .$$

В соответствии с проведенными выше оценками

$$\Delta f_Б = 2.10^{-5}\ f_Б = 430 \text{ гц.}$$

В генераторе частоты $f_г$ предполагается использовать кварцевый резонатор в вакуумном исполнении с т.к.ч 2.10^{-6} гц/град. При этом

$$4\Delta f_г = 4 f_г K_t\ \Delta t \approx 1150 \text{ гц}$$

$$\delta f_D = f_o\ \frac{2(v_{max} - v_{min})}{c} \simeq 86 \ .$$

Таким образом, полоса кварцевого фильтра составляет

$$\Delta F_{22} = 7500 \div 8000 \text{ гц.}$$

Защита от импульсов передатчика

В соответствии с заданием на разработку бортового антенно-фидерного устройства в последнем должны быть предусмотрены меры ослабления мощности излучаемого сигнала на входе приемника и альтиметра в момент передачи импульса на 30 ÷ 40 дб.

Таким образом, в моменты передачи импульсов на 50-омном входе приемника будет развиваться напряжение 1÷3 в, а на сетке первой лампы УВЧ - 4 ÷ 12 в.

Радиолампам 6С11-Д, примененным в первых каскадах УВЧ, такие перегрузки не опасны, вследствие чего меры защиты приемного канала должны предусматривать только опасность прохождения импульсов передатчиков на выход приемного устройства. Поэтому в приемнике альтиметра предусматривается стробирование канала только на время возможного прихода эхо-импульса ответа дальности от цели. Вес остальной период приемный канал должен быть закрыт.

[redacted]

Инв. № 015749

§ 4. Бортовое передающее устройство

Бортовое передающее устройство входит в комплекс аппаратуры, предназначенной для контроля траектории полета объекта "Е-I" на пассивном участке. Передающее устройство предназначено для передачи на наземный пункт сигналов, несущих информацию о траектории полета объекта на пассивном участке, а также сигналов системы телеметрического контроля на активном участке полета третьей ступени изделия 8К72 и на пассивном участке полета контейнера.

а/ Требования, предъявляемые к передающему устройству

Передающее устройство должно представлять собой генератор с независимым возбуждением, работающий в импульсном, непрерывном и импульсно-непрерывном режимах. Кроме того, в состав передающего устройства входит блок, формирующий стробы защиты бортовых приемников.

I/ Работа передающего устройства на активном участке полета третьей ступени изделия 8К72.

Во время полета третьей ступени изделия, до выключения двигателя, передающее устройство должно сообщать на наземные пункты сведения, получаемые от системы телеметрического контроля.

Сигналы, поступаемые на вход передающего устройства от системы телеметрического контроля, представляют собой видеоимпульсы длительностью $\tau_и = 4$ мксек и $\tau_и = 8$ мксек, расположенные неравномерно в реккурентном периоде с общей скважностью $S = 25$.

Из энергетического расчета радиолинии вытекает, что мощность в импульсе передатчика должна быть не менее $P_и = 100$ вт. Несущая частота $f_и = 183,6$ Мгц.

Несущая частота задается кварцованными гетеродинами приемно-

[redacted]

Инв. № 015749

го устройства.

Для обеспечения достаточной точности работы системы телеметрического контроля необходимо, чтобы передние фронты импульсов передатчика были не более I мксек.

2/ Работа передающего устройства на пассивном участке полета.

Во время полета контейнера на пассивном участке передающее устройство должно работать в импульсно-непрерывном режиме, представленном на рис. П.4.

При отсутствии связи по радиолинии "Земля-борт" пусковые импульсы будут формироваться из импульсов расположенного в приемнике системы контроля импульсного генератора с самовозбуждением. В этом случае период следования импульсов будет порядка IIO мсек.

В непрерывном режиме передатчик должен генерировать выходную мощность не менее IO вт, в импульсном режиме – не менее IOO вт.

Несущая частота генерации $f_н$ = I83,6 Мгц.

Для замеров скорости движения с помощью эффекта Допплера предусматривается кратковременное / длительностью I÷2 сек./ снятие импульсной программы. В этом случае передатчик должен обеспечить режим непрерывного генерирования на частоте $f_н$ =I83,6 Мгц выходной мощностью не менее IO вт.

Для защиты бортовых приемников от импульсов передатчика и для снятия непрерывного генерирования передатчика на время ожидаемых приходов отраженных импульсов от цели в передающем устройстве должно быть предусмотрено формирование системы стробов.

б/ Блок-схема передающего устройства

Блок-схема передающего устройства изображена на рис. Ш.IO.

По выполняемым функциям передающее устройство может быть разбито на 3 раздельных блока: блок генератор-модулятор, блок стробов и блок питания.

[redacted]

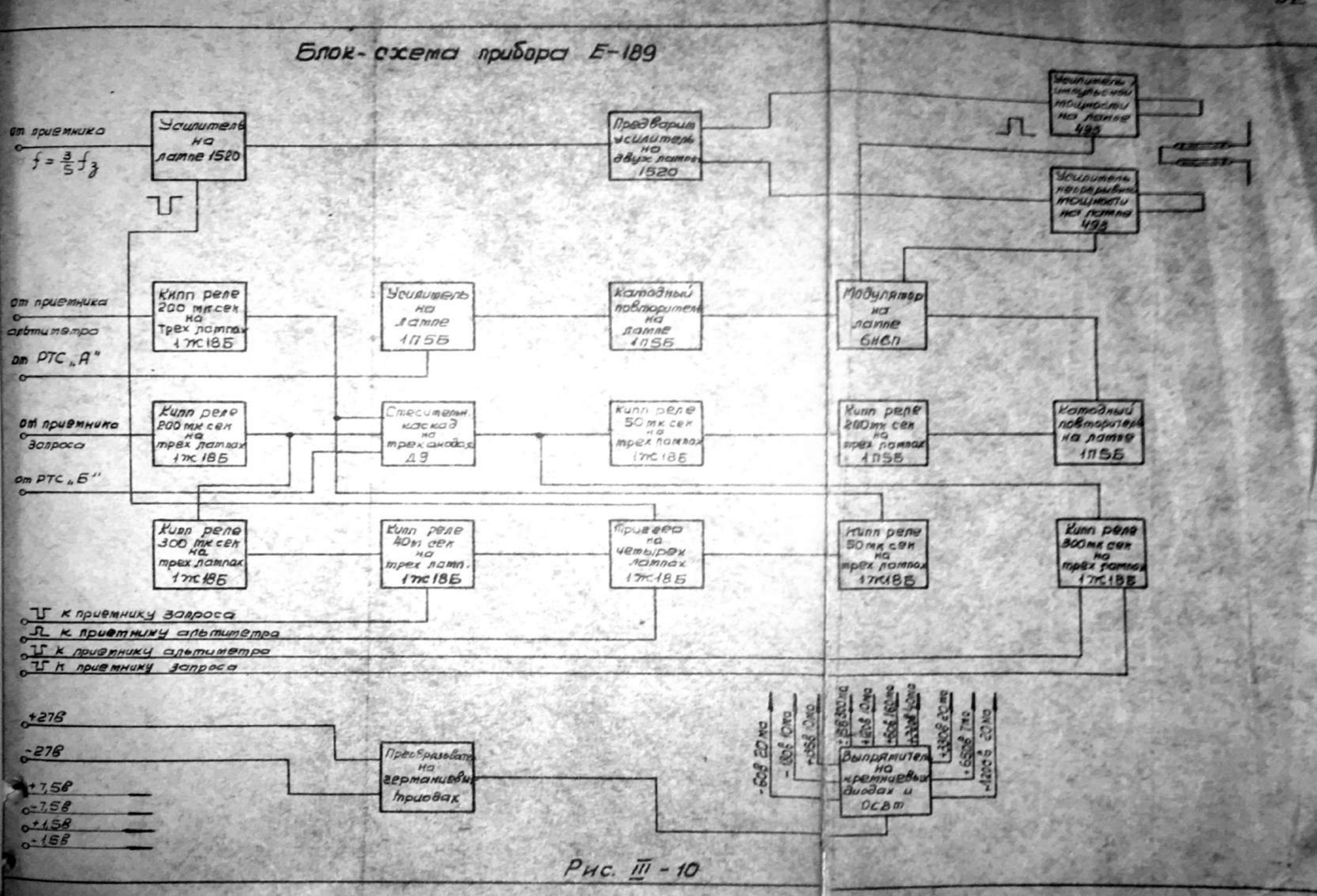

Блок-схема прибора Е-189
от приемника
f = 3/5 f_з
Усилитель на лампе 1Б2П
Предварит. усилитель на двух лампах 1Б2П
Усилитель импульсной мощности на лампе 49Б
Усилитель непрерывной мощности на лампе 49Б
от приемника альтиметра
Кипп реле 200 мк сек на трех лампах 1Ж18Б
Усилитель на лампе 1П5Б
Катодный повторитель на лампе 1П5Б
Модулятор на лампе 6Н6П
от РТС „А"
от приемника запроса
Кипп реле 200 мк сек на трех лампах 1Ж18Б
Смеситель. каскад на треханоде Д9
Кипп реле 50 мк сек на трех лампах 1Ж18Б
Кипп реле 200 мк сек на трех лампах 1П5Б
Катодный повторитель на лампе 1П5Б
от РТС „Б"
Кипп реле 300 мк сек на трех лампах 1Ж18Б
Кипп реле 40 мк сек на трех ламп. 1Ж18Б
Триггер на четырех лампах 1Ж18Б
Кипп реле 50 мк сек на трех лампах 1Ж18Б
Кипп реле 800 мк сек на трех лампах 1Ж18Б
к приемнику запроса
к приемнику альтиметра
к приемнику альтиметра
к приемнику запроса
+27В
-27В
+7,5В
-7,5В
+1,5В
-1,5В
Преобразователь на германиевых триодах
Выпрямитель на кремниевых диодах и ОСВТ

Рис. III-10

I/ Блок генератор-модулятор

Блок генератор-модулятор является основным потребителем энергии передающего устройства, и от того, насколько экономически правильно выполнено его схемное построение, зависит в основном энергетический к.п.д. всего прибора.

Рассмотрим некоторые возможные варианты построения схемы блока генератор-модулятор.

а/ Анодная модуляция выходного каскада с модуляционным трансформатором.

Так как наиболее продолжительное время передающее устройство работает в режиме непрерывной генерации, то следует прежде всего обеспечить высокий к.п.д. именно в этом режиме. Для обеспечения заданной мощности во время импульса, помимо модуляции выходного каскада по аноду, необходимо подавать импульсы напряжения на экранную сетку. В этом варианте модулирующее устройство должно быть весьма большой мощности. Для модуляции импульсами длительностью 200 мксек модуляционный трансформатор необходимо выполнить на сердечнике с большой площадью и со значительным количеством витков. При работе импульсами $\tau_и = 4 \div 8$ мксек для обеспечения малой длительности фронта трансформатор необходимо коммутировать.

б/ Анодная модуляция с ключующей лампой.

В этом варианте при непрерывной генерации питание анода выходного каскада осуществляется от низковольтного источника через диод. К катоду диода подключается катод нормально запертой ключующей лампы. На анод лампы подается напряжение от постороннего высоковольтного источника. Модуляция осуществляется путем открывания ключующей лампы по сетке через трансформатор. Трансформатор в этом случае может быть выполнен значительно меньших веса и габаритов, чем при варианте а/. Но ключующая лампа должна быть

[redacted]

достаточно токовой и мощной.

Существующие в настоящее время триоды, удовлетворяющие общим требованиям, предъявляемым к передающему устройству, не могут обеспечить необходимой мощности. Применение в качестве ключующей лампы тетрода требует для питания экранной сетки дополнительного изолированного источника напряжения. Коммутация трансформатора для обеспечения малой длительности фронта при работе импульсами $\tau_и = 4 \div 8$ мксек в этом варианте весьма затруднена.

в/ Сеточная модуляция с раздельными лампами в выходном каскаде.

В этом варианте предусматриваются две выходные лампы, работающие одна – в непрерывном, а другая – в импульсном режимах, на общую нагрузку. Модуляция лампы импульсного генерирования осуществляется по сетке. На время генерации импульса лампа непрерывного генерирования по управляющей сетке закрывается.

В табл. Ш.2 приведены результаты расчетов этих вариантов схемного построения блока генератор-модулятор.

[redacted]

Таблица Ш.2 *Инв. № 015749*

Вариант			Оконечный каскад, лампа I509			Предоконечный каскад, 2 лампы I520			Утроитель, лампа I520			Модулятор, лампа I509			Подмодулятор, лампа 6Н6		Вес модуляционного трансформатора	Общая потребляемая мощность	
Анодная модуляция выходного каскада с модуляционным трансформатором	Скважность	Режим	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_н$ накала	(кг)	P анода и экрана (вт)	P накала (вт)
	25	Импульсный $\tau_и$ = 4÷8 мксек	I6	2,5	I0	5	I	3,8	I	0,2	I,9	27	4	I0	3	4,8		43,7	
	I50	Импульсный $\tau_и$ = 200 мксек	3	0,5	I0	I	0,2	3,8	I	0,2	I,9	5	I	I0	0,5	4,8			29,5
	I,5	Непрерывный	I5,5	2,5	I0	3,5	0,7	3,8	I	0,2	I,9	-	-	I0	-	4,8	I,5	32,8	
Анодная модуляция с ключующей лампой	Скважность	Режим	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_н$ накала		P анода и экрана	P накала
	25	Импульсный $\tau_и$ = 4÷8 мксек	I6	2,5	I0	5	[illegible]	3,8	I	0,2	I,9	24	3,5	I0	3	4,8			
	I50	Импульсный $\tau_и$ = 200 мксек	3	0,5	I0	I	0,2	3,8	I	0,2	I,9	4,5	0,9	I0	0,5	4,8		40,2	
	I,5	Непрерывный	I5,5	2,5	I0	3,5	I,7	3,8	I	0,2	I,9	-	-	I0	-	4,8	0,5	30,2	29,5
Сеточная модуляция с раздельными лампами			2 лампы 493			2 лампы I520			I лампа I520			I лампа 6Н6			2 лампы IП5Б				
	Скважность	Режим	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	$P_э$ анода	$P_э$ экранной сетки	$P_н$ накала	P_a анода	$P_н$ накала		P анода и экрана	P накала
	25	Импульсный $\tau_и$ = 4÷8 мксек	I6	2,5	I0	5	I	3,8	I	0,2	I,9	I,6	-	4,8	0,8	0,5		28,I	
	I50	Импульсный $\tau_и$ = 200 мксек	3	0,5	I0	I	0,2	3,8	I	0,2	I,9	0,5	-	4,8	0,3	0,5			21
	I,5	Непрерывный	I5,5	I,5	I0	3,5	I,7	3,8	I	0,2	I,9	-	-	4,8	-	0,5	0,5	29,I	

[redacted]

Инв. № 015749

Как видно из табл. Ш.2, наиболее экономичным является вариант сеточной модуляции с разделенными лампами в выходном каскаде. Выходной каскад выполняется на двух тетродах типа 493. При выключении двигателя третьей ступени изделия предусматривается обесточивание реле в цепи модулятора, при этом происходит переключение модуляционного трансформатора.

Модулятор выполняется на лампе типа 6Н6 и двух лампах типа IП5Б.

Предварительный каскад осуществляется по двухтактной схеме на двух лампах типа I520 с настройкой контуров на несущую частоту $f_н$ = I83,6 Мгц. Сеточная цепь этого каскада питается от фазоинвертора, выполненного на лампе I520 и работающего в режиме утроителя частоты. На сетку фазоинвертора от приемного устройства поступает сигнал с частотой $f_{пр}$ = 6I,2 Мгц.

2/ Блок формирования стробов

Блок формирования стробов спроектирован на стержневых лампах типов IЖ-I8Б и IП5Б. Лампы стержневой серии обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с сеточными лампами и полупроводниковыми триодами. Экономичность по цепям питания стержневых ламп, их хорошие механические и температурные свойства, возможность получения значительных амплитуд импульсов определили применение этих ламп.

На рис. Ш.9 представлена временная диаграмма стробирующих импульсов.

Как видно из диаграммы, схемой предусматривается защита приемника запроса и приемника альтиметра от влияния излучаемых передатчиком импульсов. При подлете контейнера к цели на входе приемника запроса появится отраженный от цели импульсный запросный сигнал, который может вызвать выдачу ложного импульса передатчика.

[redacted]

Для того чтобы исключить возможность этого явления, предусматривается закрывание приемника запроса после прохождения через него импульса наземного передатчика на время, равное 40 мсек.

На приемник альтиметра, помимо стробов защиты от импульсов передатчика, подается от блока стробов импульс, открывающий приемник на время ожидаемых отраженных от цели сигналов.

Длительность открывающего приемник импульса меняется в зависимости от расстояния контейнера до цели так, чтобы после прохождения через приемник первого отраженного импульса приемник альтиметра закрылся. Это обеспечивает защиту от поступления на запуск модулятора передатчика нежелательных импульсов, следующих за основным отраженным от цели сигналом. На время работы приемника альтиметра предусматривается снятие непрерывной генерации передатчика. Это осуществляется закрыванием по управляющей сетке лампы утроителя частоты.

3. Питание передающего устройства

Продолжительность работы передающего устройства в импульсном режиме определяется временем активного участка полета третьей ступени изделия. Так как это время представляет собой незначительную часть времени полета контейнера на пассивном участке, то потребление передающего устройства по цепям питания в основном определяется его работой в импульсно-непрерывном режиме. При проектировании передатчика особое внимание уделяется его коэффициенту полезного действия в режиме непрерывного генерирования, который занимает наибольшую часть рекуррентного периода работы передатчика. Режим выходного и предварительного каскадов выбирается таким образом, чтобы при закрытии каскада утроителя частоты на

[redacted]

40 мксек, что составляет 40% от общего времени работы передающего устройства, потребление по цепям питания было минимальным.

Питание анодных и сеточных цепей ламп передающего устройства осуществляется от преобразователя постоянного тока, выполненного на кристаллических триодах типа П4Б. Преобразователь сделан по мостиковой схеме с самовозбуждением. В качестве вентилей выпрямительных устройств преобразователя применены кремниевые диоды типа Д-205 и селеновые выпрямители типа ОСВТ. От этого преобразователя осуществляется также питание анодных и сеточных цепей приемника альтиметра и приемника запроса.

При коэффициенте полезного действия преобразователя $\eta = 0,7$ общее потребление передающего устройства по цепи +27 в составляет 49,5 вт.

Питание накальных цепей передающего устройства осуществляется от батарей +7,5 в и +1,5 в с включением последовательно с накальными цепями гасящих сопротивлений. С учетом потерь мощности на этих сопротивлениях потребление передающего устройства по цепи +7,5 в составит 25 вт, а по цепи +1,5 в - 2,4 вт.

Конструктивно передающее устройство выполняется в виде отдельного негерметичного блока с экранирующим кожухом.

§ 5. Бортовые антенны

Бортовые приемно-передающие антенны систем радиоконтроля орбиты разрабатываются антенной лабораторией ОКБ-1 ГКОТ по техническому заданию НИИ-885.

Антенно-фидерное устройство должно обеспечить работу передатчика на третьей ступени активного участка изделия 8К72 при неотделенном от корпуса контейнере и всенаправленный прием и излучение на орбите отдельно летящего контейнера "Е-I".

[redacted]

Инв. № 015749

Одним из основных технических требований является обеспечение надежной защиты приемных каналов от излучения собственного передатчика / не менее 50 дб для канала 102 Мгц и 30-40 дб для канала 183,6 Мгц/.

Вариант антенно-фидерной системы, исследуемый в ОКБ-I, в настоящее время представляет собой следующее устройство.

Приемная антенна для частоты $f_з$ = 102 Мгц - два штыря длиной по $\ell_1 = \frac{\lambda_з}{4}$, установленных на верхней полусфере контейнера под углом 60° один к другому.

Приемно-передающая антенна для частоты 183,6 Мгц - четыре штыря длиной $\ell_2 = \frac{\lambda_c}{4}$, устанавливаемых также на верхней полусфере контейнера в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, линия пересечения которых совпадает при закрепленном контейнере с осью изделия 8К72.

В плоскости каждой пары угол между штырями равен 20°. Штыри запитываются в квадратуре, образуя таким образом антенну круговой поляризации. Плоскость штырей приемной антенны развернута по отношению к плоскости одной из приемно-передающей пары на 45° / рис.Ш.II/. Диаграммы направленности,снятые на модели, приведены на рис. Ш.I2, Ш.I3, Ш.I4 и Ш.I5.

Защита канала запросов от излучения бортового передатчика осуществляется с помощью фильтра-пробки, выполненного в виде шлейфа.

Защита приемного канала альтиметра, имеющего общую антенну с бортовым передатчиком, предполагается обеспечить с помощью схемы защиты, приведенной на рис. Ш.I6.

Для обеспечения передачи телеметрических данных на активном участке полета на корпусе устанавливается дополнительная выносная передающая Г-образная антенна, коммутация которой в момент отделения контейнера производится через высокочастотные отрывные буксы. Диаграмма излучения этой антенны приведена на рис. Ш.I7.

[redacted]

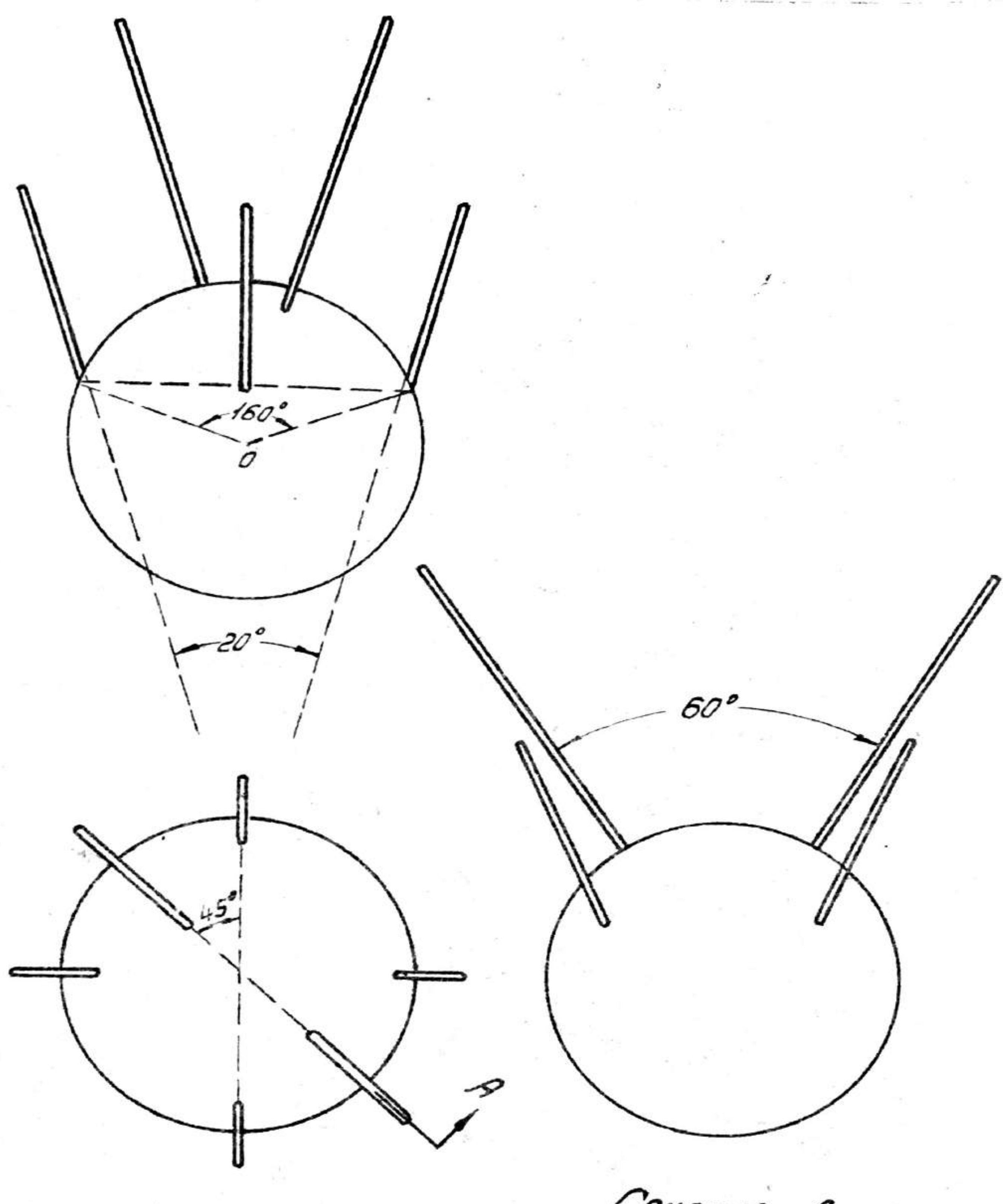


Рис. III-11

Приемная антенна

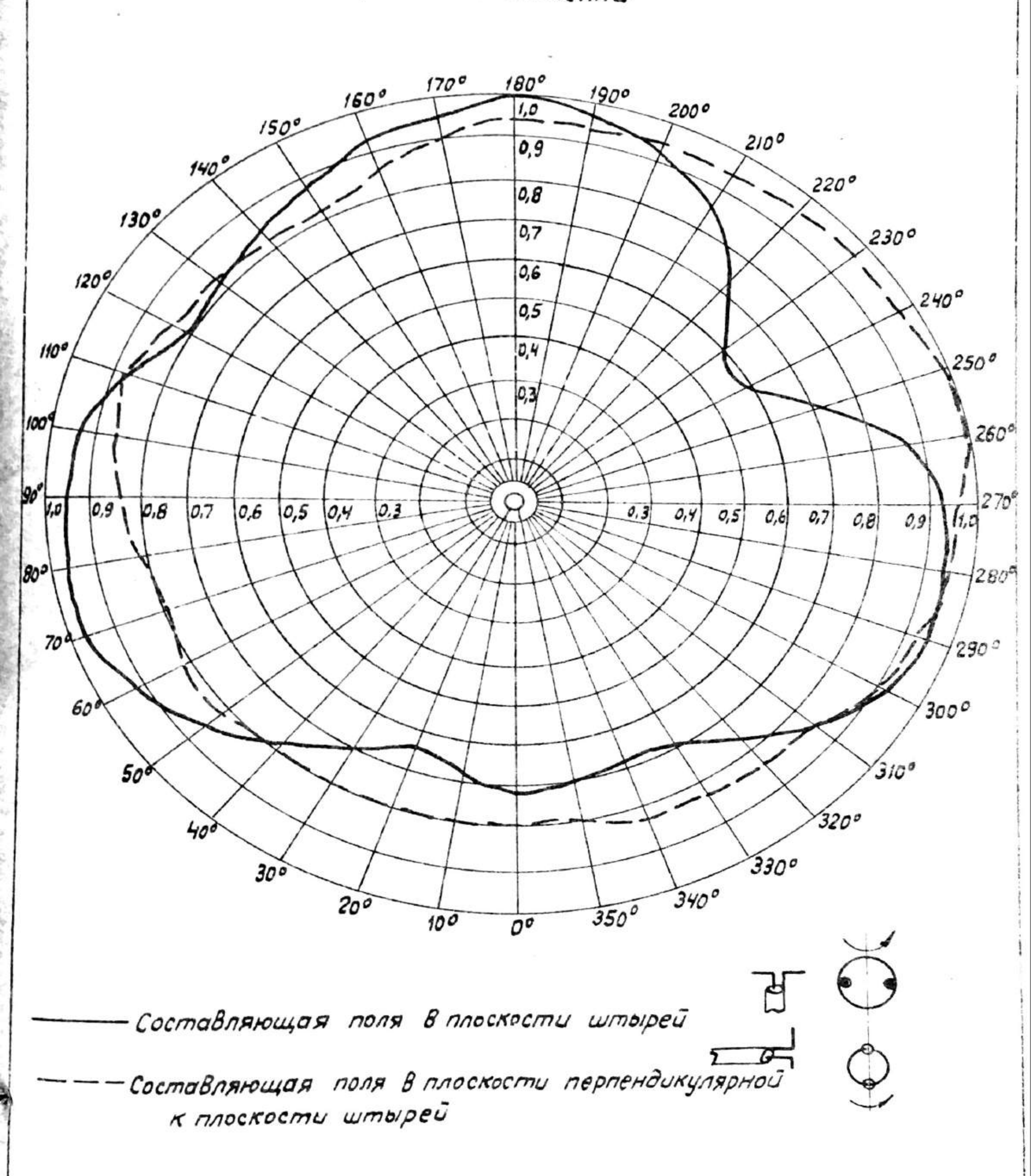
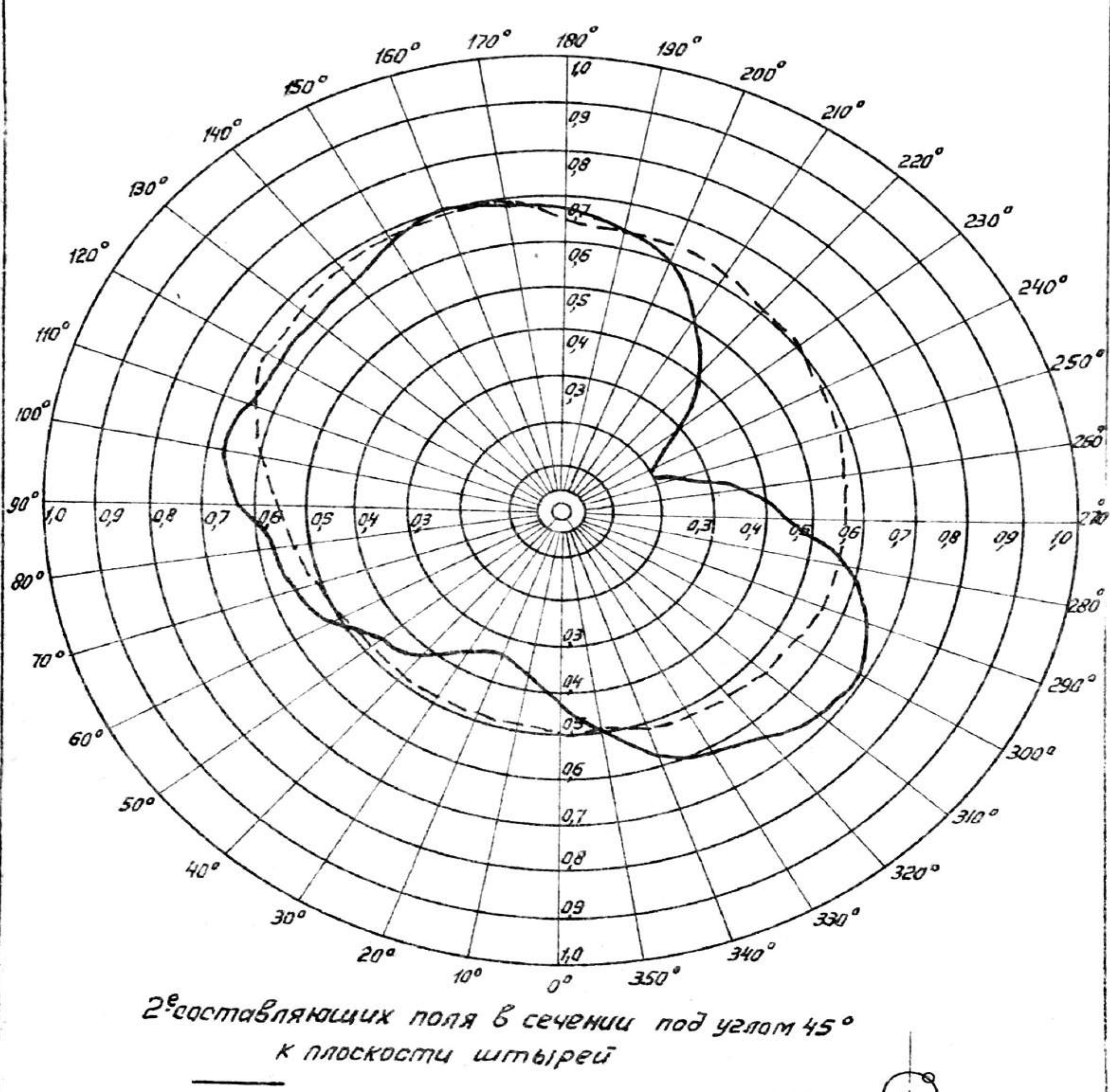


Рис. III-12

Приемная антенна



2е составляющих поля в сечении под углом 45° к плоскости штырей

Рис. III - 13

Приемо- передающая антенна на контейнере

2ᵉ составляющих поля под углом
45° к плоскостям штырей

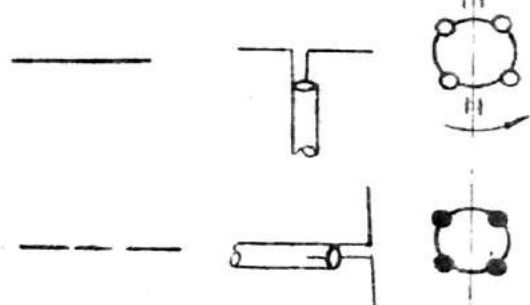
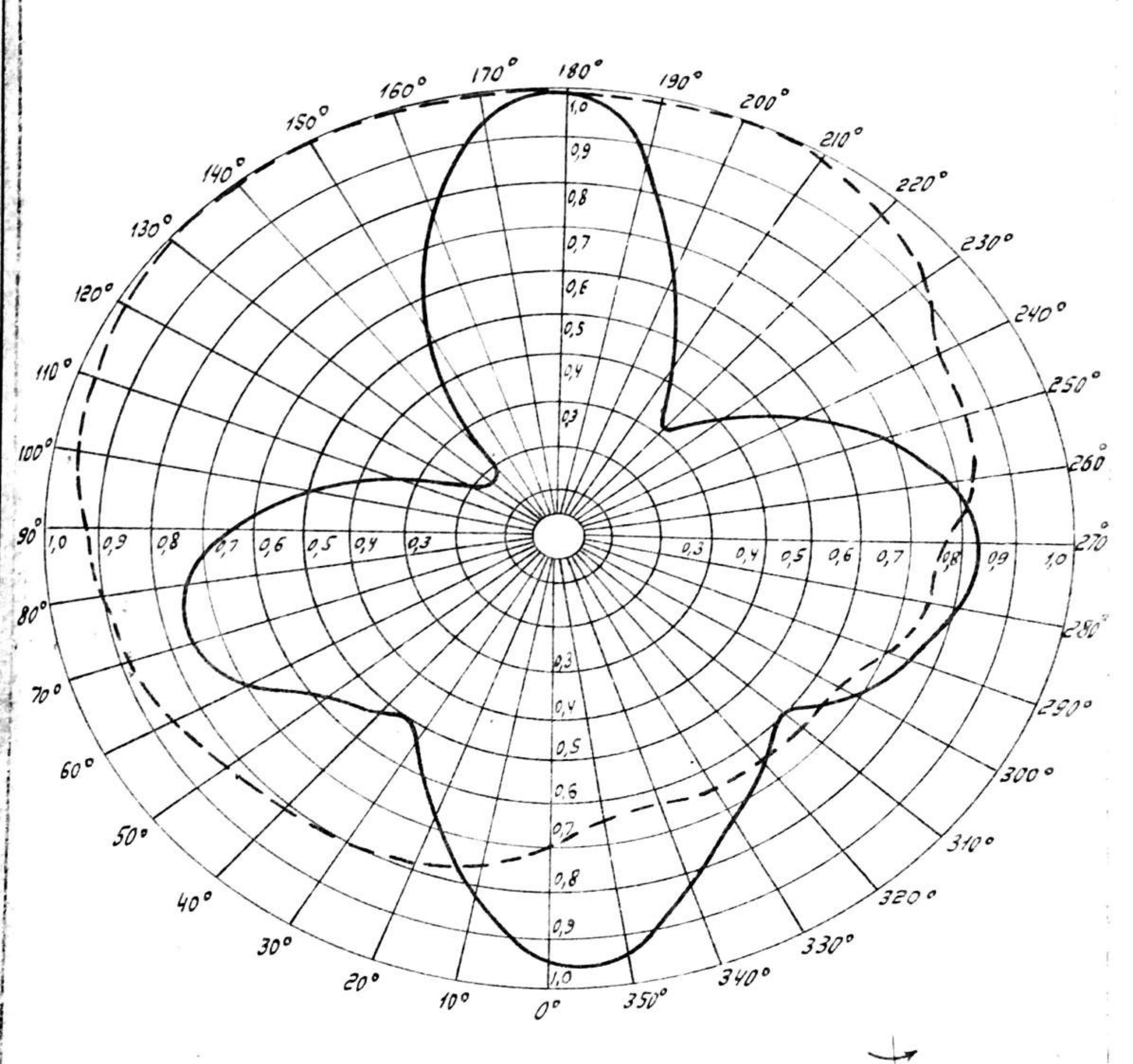


Рис III-14

НИИ

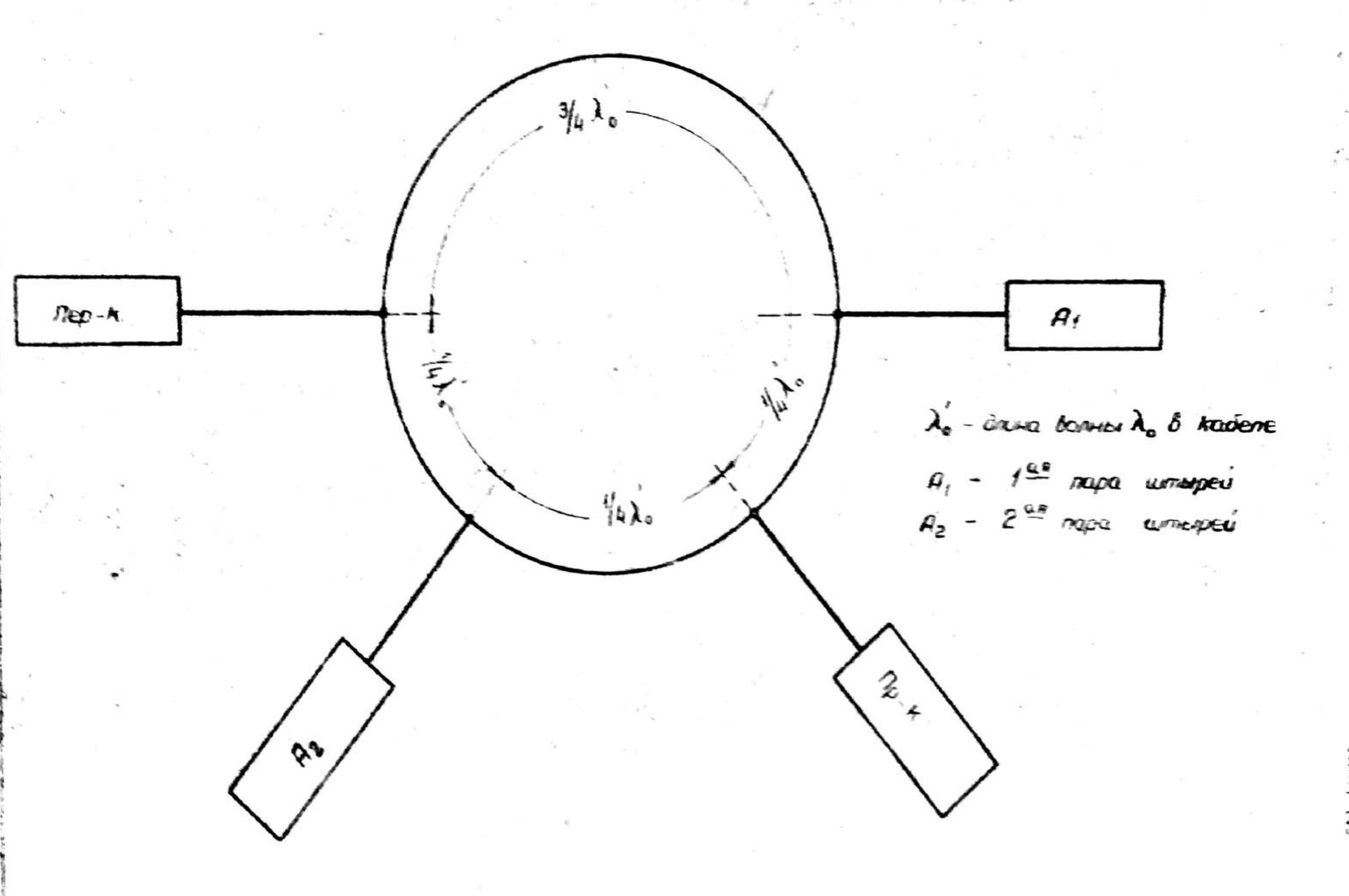
Приемо-передающая антенна на контейнере.



2-х составляющих поля

В сечении проходящих через приемо-передающ. антенны

Рис. III-15



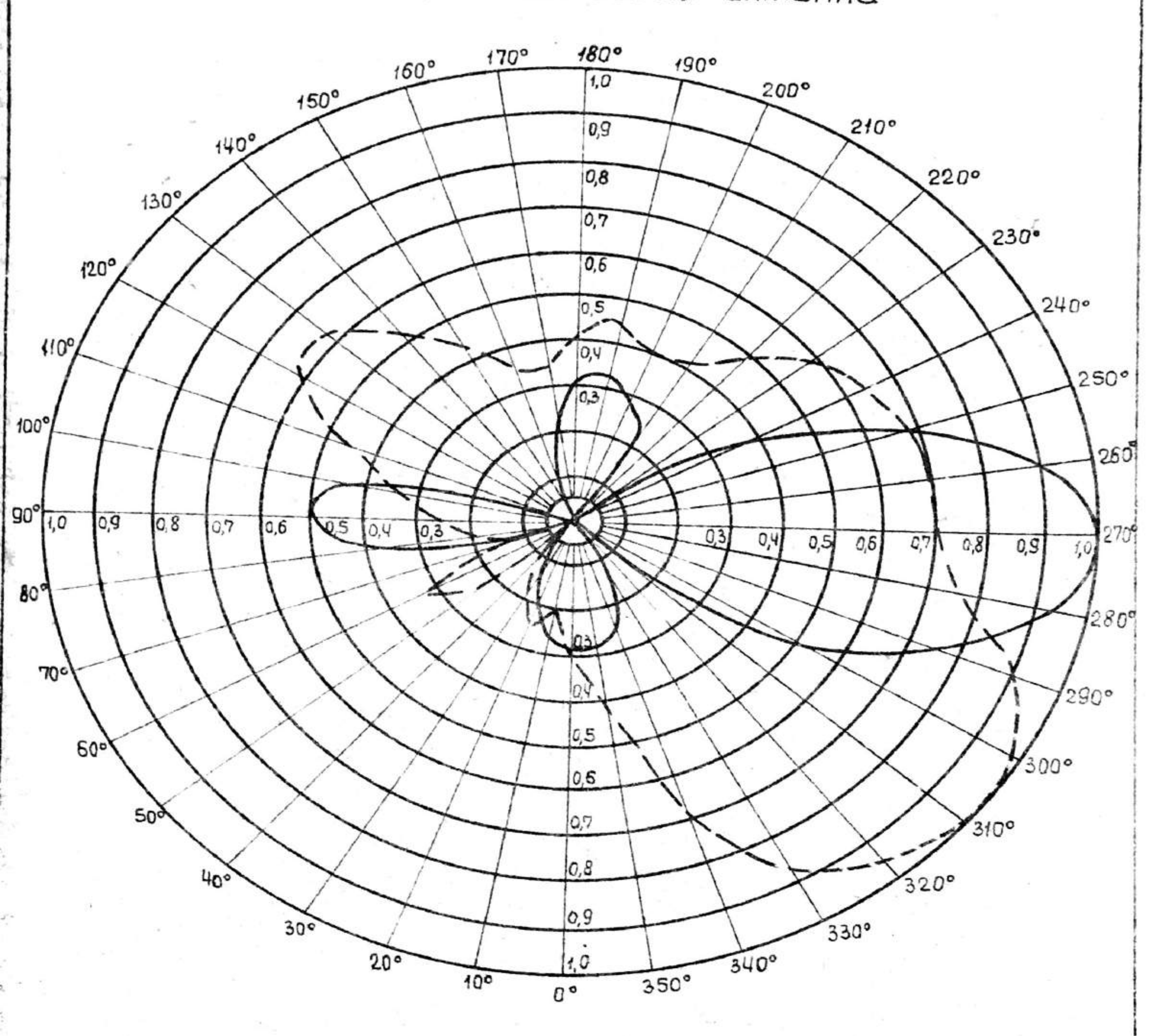
Пер-к
A1
3/4 λ0
1/4 λ'0
1/4 λ0
1/4 λ'0
Пр-к
A2
λ'0 - длина волны λ0 в кабеле
A1 - 1ая пара штырей
A2 - 2ая пара штырей

Рис III-16

НИИ

Лист №

Передающая выносная антенна



—— $E_0 = f(\vartheta)$ при $\theta = 270°$

– – $E_0 = f(\theta)$

Рис. III-17

Глава IУ

НАЗЕМНАЯ АППАРАТУРА ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ И СКОРОСТИ

§ I. Наземный передатчик запроса дальности и скорости

а) Технические требования

Исходя из расчета радиолинии запроса дальности, к наземному передатчику предъявляются следующие основные требования:

1. Импульсная мощность на выходе передатчика — 50 квт
2. Длительность огибающей высокочастотного импульса = 200 ±20 мксек
3. Генерируемая частота = 102 Мгц
4. Нестабильность генерируемой частоты / от задающего кварцевого генератора/ — 10^{-6}
5. Частота следования импульсов = 10 гц
6. Скважность Q = 450
7. Длительность огибающей фронта высокочастотного импульса — 50 Мгц
8. Спад плоской части огибающей высокочастотного импульса — 30%
9. Передатчик должен удовлетворять перечисленным требованиям при подаче на его вход синусоидальных колебаний частоты 17 Мгц и запускающих импульсов длительностью 2 мксек с частотой следования 10 гц и амплитудой — 10÷20 в.

б/ Выбор блок-схемы передатчика

Разработка мощного импульсного передатчика с длительностью импульса 200 мксек вызывает ряд трудностей.

Основная из них - отсутствие импульсных электровакуумных приборов, способных работать с такими длительностями импульсов.

[redacted]

Электровакуумная промышленность выпускает ряд импульсных радиоламп, работающих в диапазоне метровых и дециметровых волн, однако, все эти радиолампы предназначены для работы с длительностью импульсов до 10 мксек. Это объясняется, с одной стороны, тем, что вся высокочастотная импульсная техника в основном строится на длительностях импульсов от долей до единиц микросекунд, с другой стороны, тем, что оксидные катоды, применяющиеся для импульсных ламп, не могут сохранять высокую эмиссию в течение длительного импульса.

Учитывая, то, что разработка специальных мощных импульсных генераторных и модуляторных радиоламп, рассчитанных на работу в метровом диапазоне с длительностью импульса до 200 мксек, займет большое время, а так же короткие сроки разработки аппаратуры объекта "Е-I", проектирование импульсного передатчика пришлось вести на генераторных лампах непрерывного генерирования.

Генераторные радиолампы с катодами из торированного карбидированного вольфрама допускают работу в форсированном режиме как по току, так и по напряжению, что дает возможность уменьшить номинал мощности ламп, применяемых в передатчике. Предварительные расчеты показывают, что 50 квт импульсной мощности можно получить в каскаде, работающем на 2 лампах ГУ-5Б, номинальная мощность которого в непрерывном режиме составляет 5-6 квт.

Высокочастотная часть

С целью сокращения времени, необходимого для разработки передатчика с заданными параметрами, целесообразно в качестве высокочастотной части использовать существующий передатчик ИВС-I с выходной мощностью в непрерывном режиме 5-6 квт.

Блок-схема передатчика приведена на рис. IУ.2.

[redacted]

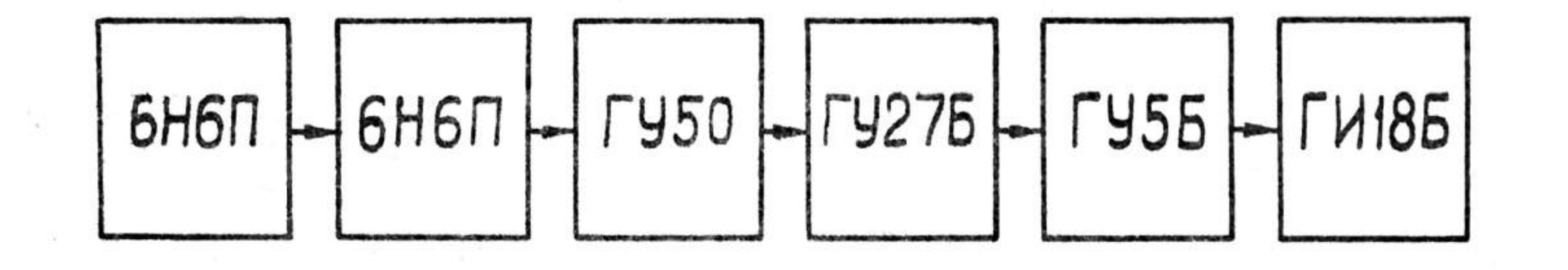


Рис. IV-1

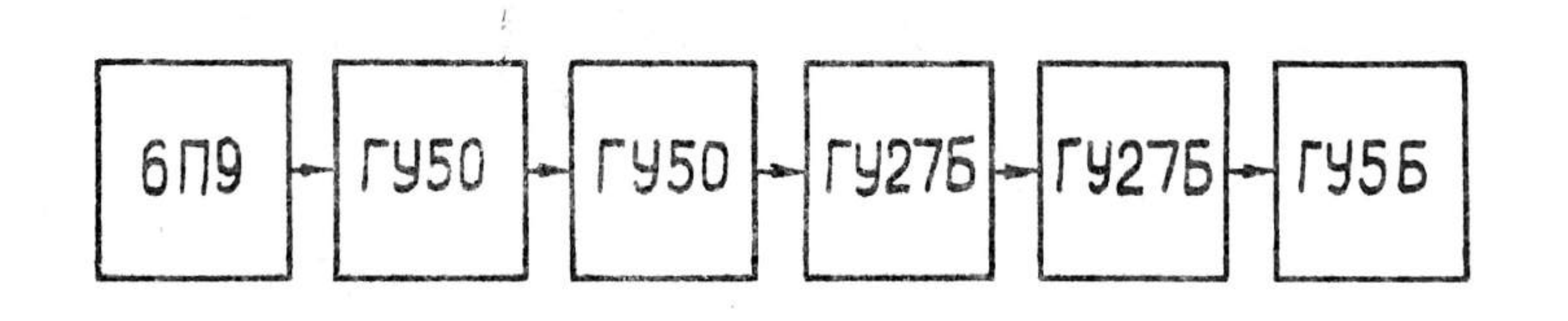


Рис. IV-2

Напряжение возбуждения подается на вход усилителя I на лампе 6П9. Нагрузкой в аноде лампы служит контур, настроенный на частоту 17 Мгц.

С анодного контура усилителя напряжение подается на вход утроителя, работающего на лампе ГУ50.

Каскад усилителя мощности "Ус.2" работает на двух лампах ГУ50, включенных параллельно.

Каскад удвоения, работающий на лампе ГУ27Б, обеспечивает мощность возбуждения, необходимую для усилителя мощности "Ус.3".

В этом каскаде осуществляется переход с несимметричного входа на симметричный выход.

Анодный контур удвоителя выполнен в виде короткозамкнутой линии.

Усилитель мощности "УС.3" работает на двух лампах ГУ27Б, включенных по двухтактной схеме.

Анодным контуром, как и в предыдущем каскаде, является короткозамкнутая линия.

Выходной каскад работает на двух лампах ГУ5Б, включенных по двухтактной схеме с заземленной сеткой.

Возможность получения в каскаде на 2 лампах ГУ5Б импульсной мощности 40-45 квт в основном определяется электрическими параметрами этих ламп и возможностью использования их в форсированном режиме. Лампа ГУ5Б имеет следующие данные :

Анодное напряжение E_a ... 5 кв.

Ток эмиссии катода I_e не менее ... 7 а

Мощность накала $P_н$... 290 вт

Лампа допускает 100% анодную модуляцию, т.е. выдерживает кратковременно / в моменты модуляции / анодное напряжение 10 кв.

Эффективность катода для обеспечения тока эмиссии 7 а должна

[redacted]

Инв. № 015749

быть

$$H = \frac{I_e}{P_H} = \frac{7}{290} = 24 \text{ ма/вт}.$$

По данным литературы известно, что эффективность вольфрамового торированного карбидированного катода находится в пределах 50-70 ма/вт.

Если исходить из эффективности катода 60 ма/вт, то ток эмиссии лампы может быть получен

$$I_e = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 290 = 18 \text{ а}$$

При условии работы каскада с углом отсечки анодного тока $\theta = 90^0$ и сеточным током За первая гармоника анодного тока равна $I_a = 0{,}5$ $I_{ma} = 7{,}5$ а.

Отсюда для получения от одной лампы мощности 20-25 квт U_a должно быть равно 7 кв

$E_a = 10$ кв, $E_{ост} = 3$ кв, $U_g = 970$ в, $P_b = 4{,}5$ квт

Таким образом, при удовлетворении полученной из расчета величины анодного тока лампы и указанного режима, с двух ламп можно получить мощность 40-45 квт.

Требование высокой стабильности генерируемой частоты исключает возможность создания мощного каскада с самовозбуждением и накладывает необходимое условие построения многокаскадного передатчика с кварцевой стабилизацией частоты.

Из расчета сеточной цепи оконечного каскада установлено, что для получения выходной импульсной мощности 40-45 квт мощность предоконечного каскада должна быть 10÷11 квт.

В связи с тем, что предоконечный каскад работает на двух лампах по двухтактной схеме, с одной лампы ГУ7Б необходимо снимать

[redacted]

импульсную мощность 5 – 5,5 квт.

Лампа ГУ27Б имеет следующие электрические данные :

Анодное напряжение E_a ... 3,5 кв

Ток эмиссии катода I_e ... 5 а

Мощность накала P_H ... 190 вт

Лампа допускает 100% анодную модуляцию, т.е. выдерживает кратковременно анодное напряжение 7 кв.

При эффективности катода 60 ма/вт ток эмиссии катода может быть получен II а.

Из ориентировочного расчета каскада на лампах ГУ27Б с выходной мощностью IO–II квт режим каждой лампы должен быть следующим:

E_a = 6 кв, $E_{ост}$ = I кв, U_a = 5 кв

U_{mg} = 600 в, I_{ma} = 4,4 а.

Таким образом, две лампы обеспечивают необходимую мощность, требуемую от каскада.

Мощность возбуждения, необходимая для предоконечного каскада, обеспечивается утроителем, работающим на лампе ГУ27Б в режиме с повышенным анодным напряжением до 5 кв.

Каскады предварительного усиления мощности обеспечивают необходимую мощность при небольших изменениях их режима работы.

Приведенные обоснования возможности получения от передатчика ИВСI импульсной мощности 40–45 квт подтверждаются полученными от разработчиков сведениями о возможности работы радиоламп ГУ5Б и ГУ27Б с эффективностью катода до 60–70 ма/вт.

Окончательное заключение по этому вопросу может быть дано только после экспериментальной проверки.

Выбор метода модуляции

Возможны два метода модуляции : сеточная и анодная.

Применение сеточной модуляции целесообразнее в том отношении,

[redacted]

что для нее достаточен маломощный модулятор, но в данном случае применение ее нежелательно по следующим причинам :

I. Постоянное напряжение IO кв на анодах ламп ГУ5Б и 6 кв на анодах ламп ГУ27Б может привести к пробоям в лампах.

2. Наличие термотока сетки может привести ее к гибели.

Учитывая данные обстоятельства, в разрабатываемом передатчике выбрана анодная модуляция.

Как было уже выяснено, для получения от проектируемого передатчика мощности в импульсе 40-45 квт анодное напряжение ламп ГУ5Б должно быть равным IO кв, а ламп ГУ27Б - 6 кв.

Целесообразно напряжение 3,5 кв подавать на аноды ламп постоянно, а модулятором повышать напряжение на анодах импульсно до IO - 6 кв соответственно на выходном и предвыходном каскадах.

Из ориентировочного расчета каскадов модулятора и ВЧ генератора определилась необходимая импульсная мощность источника анодного питания ламп, равная приблизительно

$$P_u = I_a \cdot E_a = 50 \cdot 3500 = 175 \text{ квт},$$

где I_a - суммарная постоянная составляющая анодного тока ламп, питающихся от выпрямителя 3,5 кв.

Исходя из данной величины спада огибающей ВЧ импульса 30% и учитывая спад импульса, определяемый импульсными трансформаторами модулятора, необходимо емкость фильтра выпрямителя 3,5 кв увеличить до 50-70 мкф, что обеспечит снижение напряжения выпрямителя за время импульса не более чем на I50-200 в.

Модулятор должен подавать на аноды ламп импульсы длительностью 200 мксек амплитуды 6,5 кв, что можно осуществить, используя на выходе модулятора импульсный модуляционный трансформатор.

Необходимость модуляции по аноду предоконечного каскада автоматически приводит к модуляции выходного каскада по возбуждению.

[redacted]

Инв. № 015749

Таким образом, схема модуляции принимает вид комбинированной модуляции.

В связи с тем, что на аноды ламп ГУ27Б подается постоянное напряжение 3,5 кв, в импульсном режиме необходимо производить манипуляцию на сетку лампы ГУ50 каскада утроителя.

Схема модуляции выходного и предоконечного каскадов имеет вид, изображенный на рис. IУ.4.

Выбор схемы модулятора

Мощность модулятора в данном случае может определяться как мощность манипулятора

$$P = E_a \cdot I_a \quad .$$

Отсюда модулятор должен отдавать мощность, равную

$$P_{\mu_1} = 6{,}5 \cdot 10^3 \cdot 9 = 58 \text{ квт},$$

$$P_{\mu_2} = 2{,}5 \cdot 2{,}3 = 6 \text{ квт},$$

$$Pм_{I-2} = /58+6/ \cdot 0{,}85 = 75 \text{ квт}$$

$$\text{имп. тр-ра} = 0{,}85$$

В связи с тем, что анодное напряжение модулятора подается от источника 3,5 кв, импульсное напряжение на аноды модулируемых ламп можно получить при условии применения импульсного трансформатора.

Коэффициент трансформации трансформатора определяется из соотношения импульсных напряжений на анодах ламп ГУ5Б и ламп модулятора и равен 2,6. Отсюда ток, который должна коммутировать лампа модулятора, равен

$$I_{aм} = \frac{75}{2{,}6} = 29 \text{ а}.$$

Из существующих генераторных ламп такой ток могут дать лампы ГУ21Б и ГИ18Б.

[redacted]

Ориентировочно для возбуждения этих ламп необходима мощность, равная 10-11 кв.

Данную мощность можно получить от лампы ГУ10Б, на возбуждение которой необходима мощность 1,5 квт.

Предыдущий каскад должен быть на лампе ГУ27Б, возбуждаемой лампой ГУ50.

Связь между каскадами должна осуществляться при помощи импульсных трансформаторов.

Первым каскадом модулятора может быть реактивно-спусковая схема, формирующая импульсы длительностью 200 мксек и запускаемая импульсами, подаваемыми на вход передатчика из командной машины.

Таким образом , блок-схема модулятора может иметь вид, изображенный на рис. IУ.1.

Блок-схема передатчика запроса дальности изображена на рис. IУ.3.

Автоматика и блокировка

Система автоматики должна обеспечивать следующее :

1. Последовательность включения напряжений питания : накал, смещение, экранное, анодное.

2. Невозможность включения передатчика без воздушного охлаждения ламп генератора ВЧ и модулятора и снятие всех напряжений при прекращении подачи воздуха.

3. Невозможность включения выпрямителей +700 в и +3,5 кв без выдержки времени 2-3 мин после включения накала ламп.

4. Выключение выпрямителей +700 в и +3,5 кв при выходе из строя выпрямителя - 200 в.

5. Выключение передатчика при выходе из строя выпрямителя +3,5 кв.

Для безопасности обслуживающего персонала в передатчике долж-

[redacted]

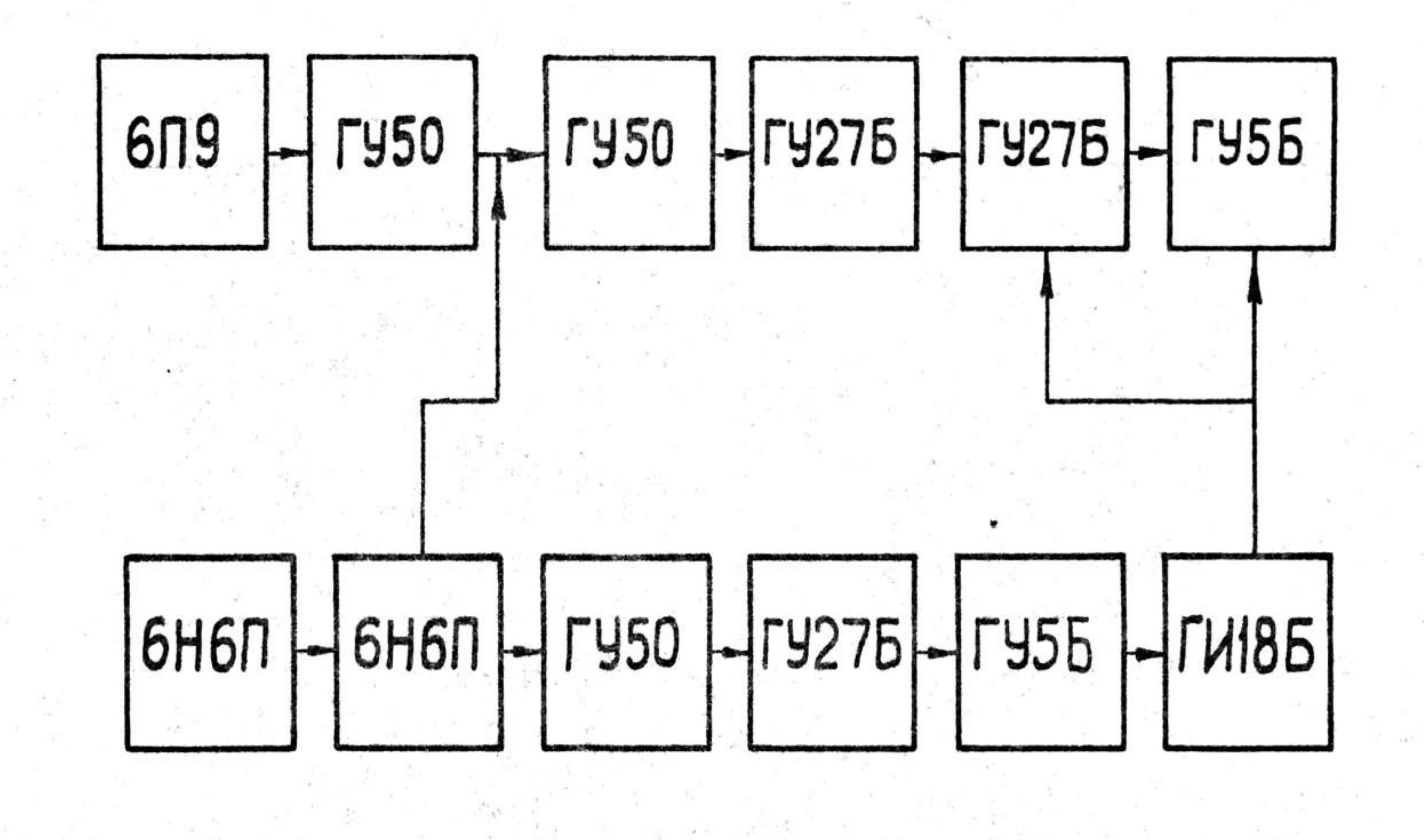

6П9
ГУ50
ГУ50
ГУ27Б
ГУ27Б
ГУ5Б
6Н6П
6Н6П
ГУ50
ГУ27Б
ГУ5Б
ГИ18Б

Рис. IV-3

К вых. каскаду

К предвых. каскаду

E_a

Рис. IV-4

на быть осуществлена блокировка, охватывающая все блоки с высоковольтным напряжением.

Блокировка должна обеспечивать выключение всех напряжений при открывании любой из дверок и выдвигании любого блока из стоек.

Контроль работы передатчика

Дополнительно к существующему контролю за работой передатчика ИВСI необходимо осуществление контроля за работой модулятора. Приборы, при помощи которых будет осуществляться контроль работы модулятора, должны быть установлены на передней стенке шкафа модулятора.

В выходном и предвыходном каскадах модулятора должны контролироваться :

а/ средний анодный ток,

б/ средние сеточные токи.

В каскаде на лампе ГУ27Б должны контролироваться:

а/ средний анодный ток,

б/ средний ток первой сетки.

В каскаде на ГУ50 должен контролироваться средний анодный ток.

Для контроля наличия и формы импульсов запускающих кипп-реле и импульсов, сформированных им, необходим электронный осциллограф. Контроль импульсов модулятора также должен осуществляться и в выходном каскаде модулятора.

Воздушное принудительное охлаждение ламп

Дополнительно к существующей системе воздушного охлаждения генераторных ламп в передатчике ИВСI необходима система охлаждения модуляторных ламп с общей производительностью 200 $м^3$/час.

[redacted]

Инв. №015749

в) Наземный передатчик радиолинии запроса скорости

К передатчику радиолинии запроса скорости предъявляются следующие основные технические требования :

I. Мощность передатчика P = 5 квт

2. Генерируемая частота f = I02 Мгц.

3. Нестабильность генерируемой частоты $I0^{-6}$

4. Режим генерации — непрерывный.

5. Передатчик должен удовлетворять перечисленным требованиям при подаче на его вход синусоидальных колебаний частоты I7 Мгц.

Указанным требованиям полностью удовлетворяет передатчик типа ИВС-I, разработанный ОКБ-285, для этой цели он может быть применен без каких-либо доработок.

Целесообразно объединить функции запроса скорости и запроса дальности в одном передатчике, работающем в 2 режимах.

Однако возможность быстрого перехода из одного режима в другой будет определена в процессе разработки передатчика запроса дальности.

§ 2. Наземные антенно-фидерные устройства

Наземные антенны радиолинии измерения скорости и дальности должны обеспечивать направленное излучение сигналов запроса дальности (импульсная мощность $P_И \simeq 50$ квт) и скорости (непрерывные колебания мощностью $P_н \simeq I0$ квт) на частоте 102 Мгц с коэффициентом усиления не менее 60 и прием ответных сигналов с борта на частоте I83,6 Мгц. Эффективная поверхность приемной антенны должна быть не менее 100 $м^2$.

Устройство бортовых антенн системы радиоконтроля и условия их размещения на объекте таковы, что для обеспечения надежной связи наиболее целесообразно излучать с земли поле с круговой поляри-

[redacted]

зацией, которое будет приниматься на борту линейно-поляризованной антенной. Прием излучаемых с борта ответных сигналов целесообразно производить на две отдельные антенны с взаимноперпендикулярной поляризацией, каждая из которых включена на свой приемник. Это необходимо постольку, поскольку бортовая приемно-передающая антенна, работающая на частоте 183,6 Мгц, излучает в некоторых направлениях волны с круговой (правой или левой) поляризацией.

И передающая и приемная антенны должны быть установлены на поворотных устройствах, допускающих поворот антенн по азимуту в секторе $\pm 180^0$ и по углу места от 0 до 50^0. Установка антенн в заданном направлении должна осуществляться электромеханическими приводами (на первом этапе может быть допущена ручная установка) с точностью не хуже $\pm 0,5^0$ по сигналам от программного устройства или от системы дистанционной передачи углов.

Определим ориентировочные размеры передающей антенны и рассмотрим возможные варианты её конструктивного выполнения.

Как известно, для получения круговой поляризации на метровых волнах удобно использовать антенны в виде решеток из спиральных излучателей или зеркала с облучателями, поляризованными по кругу. Возможно также использование многовибраторных решеток из взаимно-перпендикулярных вибраторов, питаемых в квадратуре.

По опубликованным данным коэффициент направленного действия одной спирали длиною L равен примерно

$$D \approx 15 \frac{L}{\lambda} \qquad \text{(IV.1)}$$

На волне около 3 м, повидимому, нецелесообразно изготовление спиралей длиной более ($1 \div 1,5) \lambda$, поэтому для получения коэффициента усиления порядка 60 необходимо использовать не менее четырех спиралей. При расстоянии между отдельными излучателями, равном λ , размеры экрана, на котором должны укрепляться спирали,

[redacted]

будут порядка $3\lambda \times 3\lambda$, т.е. 9м х 9м. Учитывая, что экран может быть выполнен из сетки с ячейками сравнительно большого размера, размеры экрана следует считать приемлемыми.

Диаметр параболического зеркала $Д_З$ может быть определен по известной формуле

$$G = \frac{4\pi S_{эф}}{\lambda^2} \approx \frac{4\pi\, 0,5\, S_г}{\lambda^2}, \qquad (IV.2)$$

где

$S_{эф}$ – эффективная площадь антенны,

$S_г = \frac{\pi D^2}{4^3}$ – геометрическая площадь раскрыва антенны.

При $G = 60$ и $\lambda \approx 3$ м

$$D_З \quad \frac{\lambda}{\pi} \quad \sqrt{2G} \approx 10. \qquad (IV.3)$$

Размеры синфазной антенны также могут быть примерно определены по формуле (IУ.2) в предположении, что $S_{эф} = 0,8\ S_г \approx 0,8\ a \times b$, где a и b – размеры синфазной многовибраторной антенны в двух плоскостях. При $a \approx B$ $G \approx 60$

$$a = b = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{G} \approx 8 м.$$

Таким образом, размеры всех рассмотренных типов антенн получаются примерно одинаковыми. Учитывая сложность устройства системы питания синфазной многовибраторной антенны с круговым полем, целесообразно использовать передающую антенну зеркального типа или, если изготовление параболического рефлектора или облучателя на импульсную мощность порядка 80 квт окажется затруднительным, решетку из 4 спиральных антенн, в которых круговое поле возбуждает-

[redacted]

Инв. № 015749

ся сравнительно простым образом.

В качестве приемной антенны с большой эффективной площадью, по всей видимости, целесообразно использовать синфазные решетки из простых вибраторов или из слабо направленных облучателей типа "волновой канал", так как такие антенны будут иметь наименьшие линейные размеры. При выполнении решетки в виде квадрата, сторона квадрата синфазной антенны с эффективной площадью 100 $м^2$ будет равна примерно 12÷15 м:

Для приема волн двух поляризаций могут использоваться как раздельные антенны, так и расположенные на одном полотне взаимноперпендикулярные вибраторы. В последнем случае уменьшается вдвое число необходимых поворотных устройств, но усложняется система питания синфазных решеток. Учитывая то обстоятельство, что антенны предназначаются для приема фиксированной и узкой полосы частот, т.е. согласование вибраторов не должно вызывать затруднений, целесообразно конструировать совмещенную антенну на две поляризации. Питание передающей антенны необходимо осуществлять кабелем РКП-2/200 с волновым сопротивлением 50 ом, допускающим передачу сигналов при эффективном напряжении не более 5000 в в течение 5 мин с затуханием не более 3,5 неп/км ≈ 0,03 дб/м на частоте 100 Мгц. Таким образом, кабель допускает передачу импульсных сигналов мощностью до 500 квт и непрерывных сигналов меньшей мощности в течение ограниченного времени (5 мин. непрерывной работы).

Для питания приемных антенн предполагается использовать кабель марки РК-6 с затуханием на частоте 183,6 Мгц, примерно равном 10 $\frac{неп}{км}$ ≈ 0,087 дб/м. Для того, чтобы не ухудшать энергетический режим радиолиний, длина передающего фидера не должна превышать 30 м, а длина приемных фидеров не должна превышать 10÷15 м. Для

[redacted]

кабелей марки РКП-2/200 и РК-6 имеются унифицированные кабельные и приборные разъемы различного назначения, что существенно облегчает задачу построения системы питания антенн.

В настоящее время отечественная промышленность не выпускает поворотных устройств, допускающих вращение антенн размерами I2 x I2 м по азимуту и углу места. Поэтому при ограниченном сроке на разработку и изготовление наземных антенн целесообразно использовать поворотные устройства от трофейных радиолокационных станций " Большой Вюрцбург" или SCR-627. Такие поворотные устройства имеются, в частности, в распоряжении Крымской экспедиции ФИАН (рис.I.4 и I.5).

Поворотное устройство от станции SCR снабжено электромеханическим приводом по обеим осям (люфт приводных устройств не превышает I^0) и рассчитано на установку антенн размерами IO÷I2 м. Поворотное устройство "Большой Вюрцбург" имеет ручной привод и допускает установку электромеханических приводных устройств. Поворотное устройство рассчитано на установку зеркал диаметром до 20 м. В настоящее время на поворотном устройстве "Большой Вюрцбург" установлено зеркало диаметром 7 м, что позволяет получить с ним коэффициент усиления не больше 30, а на поворотном устройстве SCR установлена синфазная решетка на $\lambda \simeq I,5$ м размерами 6xIO м. Таким образом, использование имеющихся в КЭ ФИАН антенн полностью для системы радиоконтроля не представляется возможным.

Использование только поворотных устройств КЭ ФИАН, допускающих поворот систем требуемого размера в секторе $\pm I80^0$ по азимуту и от 0 до 80^0 по углу места, представляется целесообразным.

Навеска синфазной приемной антенны на поворотные устройства SCR-627, по всей видимости, не вызовет существенных трудностей. Навеска передающей антенны на поворотное устройство "Большой Вюрц-

[redacted]

Инв. № 015749

бург" сопряжена с большими сложностями и требует детальной конструкторской проработки.

§ 3. Расчет и описание наземной приемной аппаратуры

Блок-схема приемного устройства приведена на рис. IУ.5.

Структура блок-схемы во многом определяется тем, что в целях сокращения объема работ по созданию аппаратуры заказа "Е-I", приемное устройство создается на базе аппаратуры системы "Вектор", предназначенной для изделия 8К7I.

С целью увеличения чувствительности приемного устройства усилители частоты I83,6 Мгц предполагается монтировать непосредственно на приемных антеннах в специальном блоке. В этот же блок с помощью кабеля будет заводиться гетеродинная частота I02 Мгц.

Полученная в смесителе $СМ_I$ первая промежуточная частота 8I,6 Мгц после усиления будет подаваться по кабелю на вход приемника 8I,6 Мгц системы "Вектор" (блок К-352-1).

С выхода приемника промежуточная частота 4,4 Мгц будет подаваться на смесители $СМ_4$ и $СМ_5$.

На выходе смесителя $СМ_4$ при подаче гетеродинной частоты 4,4 Мгц будут образовываться биения с допплеровской частотой. Эти биения пропускаются далее через перестраивающийся низкочастотный фильтр $Ф_I$ с узкой полосой пропускания. Перестройка фильтра $Ф_I$ вслед за изменениями допплеровской частоты производится вручную по показаниям индикатора настройки, роль которого выполняет блок К-352-1) системы "Вектор".

С выхода фильтра сигнал подается на схему формирования импульсов, служащих для измерения периода биений.

На выходе смесителя $СМ_5$ образуется частота 400 кгц, которая пропускается через перестраивающийся фильтр $Ф_2$. С выхода фильтра напряжение подается на видеодетектор и усилитель НЧ. На выходе

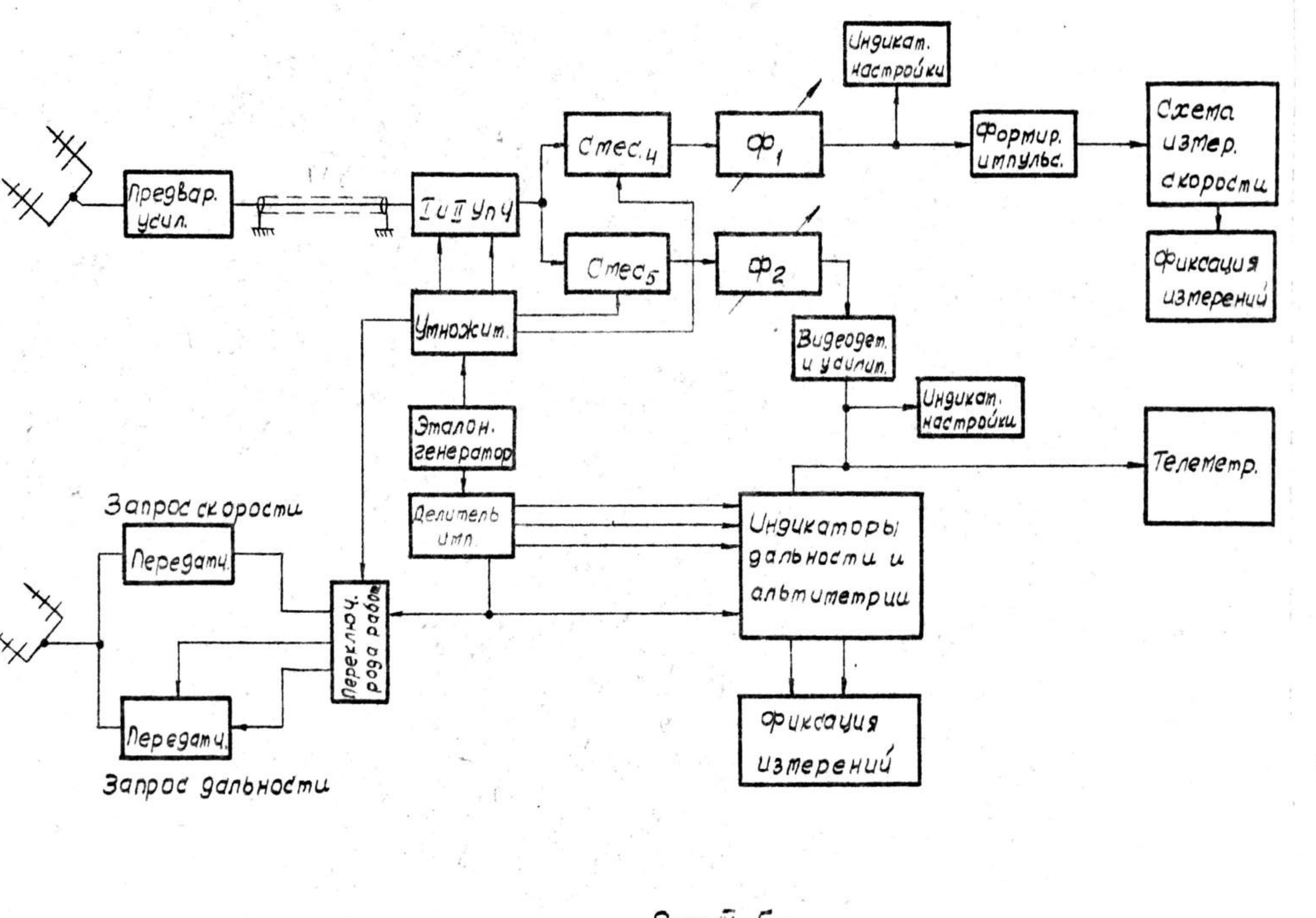

Предвар. усил.
I и II УпЧ
Смес.4
Смес.5
Ф1
Ф2
Индикат. настройки
Формир. импульс.
Схема измер. скорости
Фиксация измерений
Умножит.
Эталон. генератор
Делитель имп.
Видеодет. и усилит.
Индикат. настройки
Телеметр.
Индикаторы дальности и альтиметрии
Фиксация измерений
Переключ. рода работ
Запрос скорости
Передатч.
Передатч.
Запрос дальности

Рис. IV-5

усилителя выделяются импульсы дальности и телеметрии.

Перестройка фильтра $Ф_2$ вслед за частотой бортового автономного генератора, который работает как при запросе дальности, так и в режиме автономной телеметрии, производится вручную по показаниям специального индикатора, выделяющего первую гармонику огибающей бортового сигнала. Гетеродинные частоты, используемые в приемном устройстве, формируются в блоках умножителей частоты системы "Вектор", которые могут быть применены без каких-либо существенных переделок.

а) Выносной усилитель

Блок-схема выносного усилителя приведена на рис. IУ.6.

Усилитель частоты I83,6 Мгц представляет собой два каскада с заземленными сетками, обеспечивающих наибольшую устойчивость при общем усилении порядка I5.

Расчетный шумфактор при использовании ламп типа 6СIIД на частоте I80 Мгц имеет порядок 5,5÷6 дб.

В смесительном каскаде применена схема триодного односеточного смешения. Вследствие большого коэффициента преобразования эта схема не должна давать существенного увеличения шумфактора.

В качестве предварительного усилителя промежуточной частоты 8I,6 Мгц используется схема, полностью аналогичная входным цепям приемника системы "Вектор". Усилитель типа "Каскад с заземленным катодом-каскад с заземленной сеткой" и усилитель мощности дают усиление порядка IO при собственном уровне шумов порядка 3 дб.

Общий шумфактор выносного усилителя будет иметь величину, примерно равную 7 дб при усилении по мощности порядка $10^2 \div 10^3$.

При длине соединительного кабеля РК-6, равной 50 м, затухание в нем сигнала с частотой 8I,6 Мгц будет равно 2,8 дб. Таким образом

[redacted]

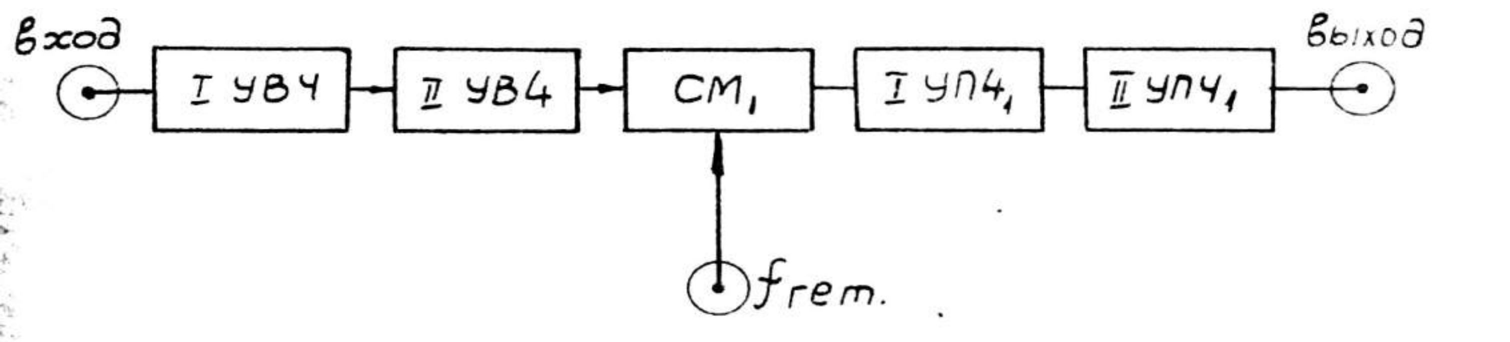


Рис. IV-6

зом, усиление по мощности от входа выносного усилителя до входа основного усилителя 81,6 Мгц будет равно $10^2 \div 10^3$.

Усилитель гетеродинной частоты 102 Мгц должен компенсировать потери в кабеле при передаче из блока умножителей и должен поэтому иметь усиление порядка 3 дб.

б) Основной усилитель приемного устройства

Блок К-352 - IM

Разветвление сигнала на каналы дальности и скорости происходит на третьей промежуточной частоте, равной 4,4 Мгц. Приемник системы "Вектор" имеет на этой частоте полосу порядка 60÷70 кгц при усилении сигнала по входу 81,6 Мгц равном 100 дб. Ограничение сигнала в каскадах промежуточной частоты наступает при входном сигнале, равном 7 мкв, поэтому, применяя приемник "Вектор" в заказе "Е-I", необходимо или расширить динамический диапазон усиления или уменьшить коэффициент усиления каскадов первой и второй промежуточных частот, не расширяя в то же время полос пропускания.

в) Выходное устройство канала скорости

Блок К-362-2

Блок-схема выходного устройства приведена на рис. IУ.7.

Полоса пропускания нагрузки смесителя СМ4 больше ширины диапазона возможных допплеровских частот и имеет величину 2÷5 кгц.

Перестраивающийся фильтр низких частот $Ф_I$ имеет результирующую П-образную полосу шириной в 100 гц. Диапазон перестройки фильтра перекрывает возможные значения допплеровских частот. Перестройка осуществляется изменением частоты вспомогательного генератора. Собственно фильтр построен на двух связанных через кварц контурах и имеет среднюю частоту 10 кгц.

Индикация точной постройки осуществляется с помощью блока [К352-7

[redacted]

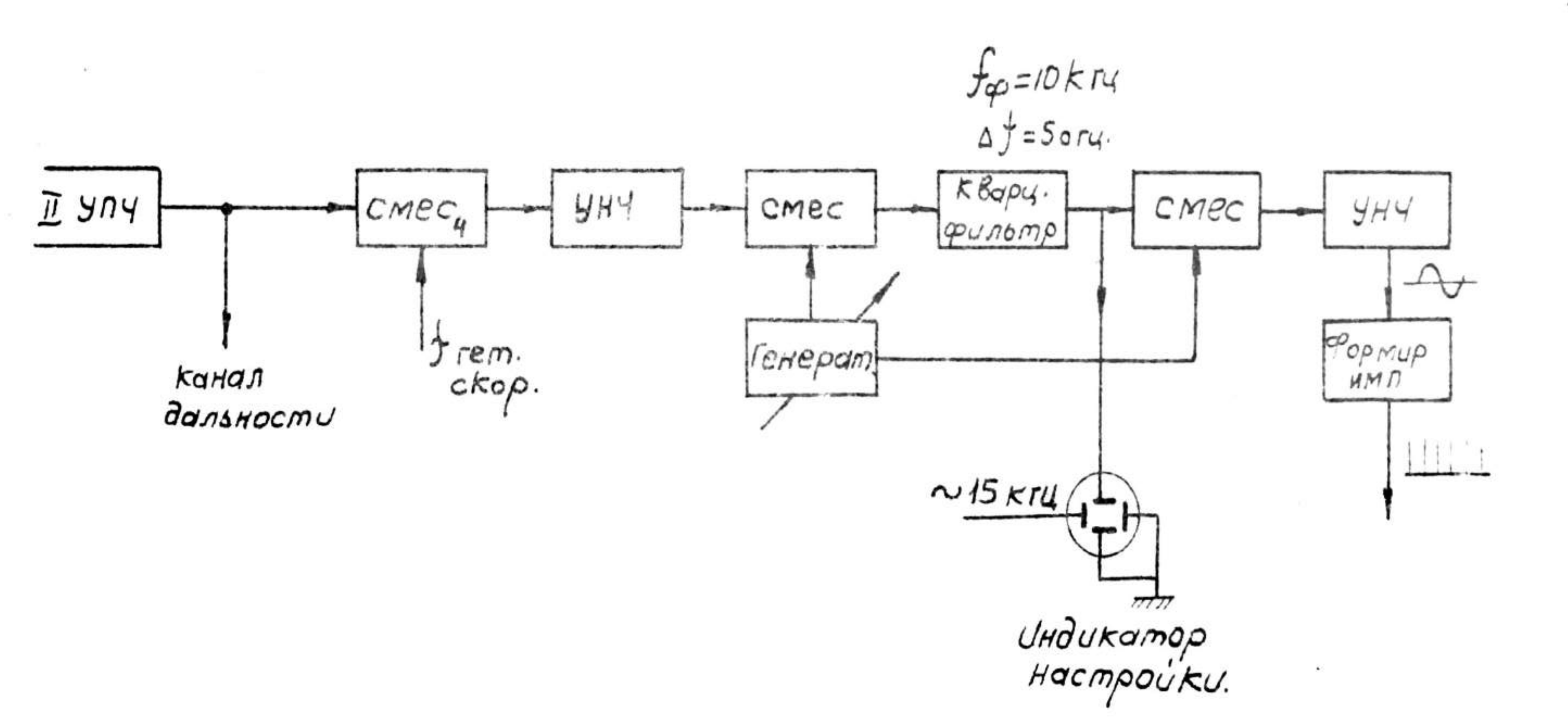

II УПЧ
канал дальности
смес4
f гет. скор.
УНЧ
смес
Генерат
fф=10 кгц
Δf=50 гц.
Кварц. фильтр
смес
УНЧ
Формир имп
~15 кгц
Индикатор настройки.

Рис. IV-7

системы "Вектор" по фигуре Лиссажу, образованной сигналом с выхода фильтра 10 кгц и опорной частотой 15 кгц.

При точной настройке фигура Лиссажу резко замедляет вращение.

Для иммитации доплеровской частоты в блоке умножителей предусматривается замена гетеродинной частоты 4,4 Мгц частотой 4,405 Мгц, что дает при подключении на вход приемного устройства иммитатора с частотой 183,6 Мгц напряжение с частотой 5 кгц на входе фильтра низких частот $Ф_I$.

Нетрудно показать, что мощность шумов на выходе фильтра $Ф_I$ будет определяться в основном шириной полосы фильтра и коэффициентом шумов входных цепей приемника. Для Δf = 100 гц и $n_ш = 4 \div 5$ ($n_ш$ - коэффициент мощности шумов приемника) получим мощность шума, приведенную ко входу :

$$P_ш = 4 \cdot 10^{-21} \cdot 100\,(4 \div 5) = (16 \div 20)\,10^{-19} \text{ вт} .$$

Полагая минимальное соотношение "сигнал/шум" на выходе фильтра $Ф_I$, дающее возможность точно подсчитывать число периодов доплеровской частоты за определенный отрезок времени, равным примерно $10 \div 30$ по мощности, получим чувствительность приемника

$$P_{сигmin} = P_ш\,(10 \div 30) = (1{,}6 \div 6) \cdot 10^{-17} \text{ вт} .$$

На входном сопротивлении 50 ом это дает :

$$U_{сигmin} = \sqrt{50 \cdot (1{,}6 \div 6)\,10^{-17}} \cong (3 \div 5)\,10^{-8} \text{ в} = (0{,}03 \div 0{,}05) \text{ мкв} .$$

г) Выходное устройство канала дальности и телеметрии

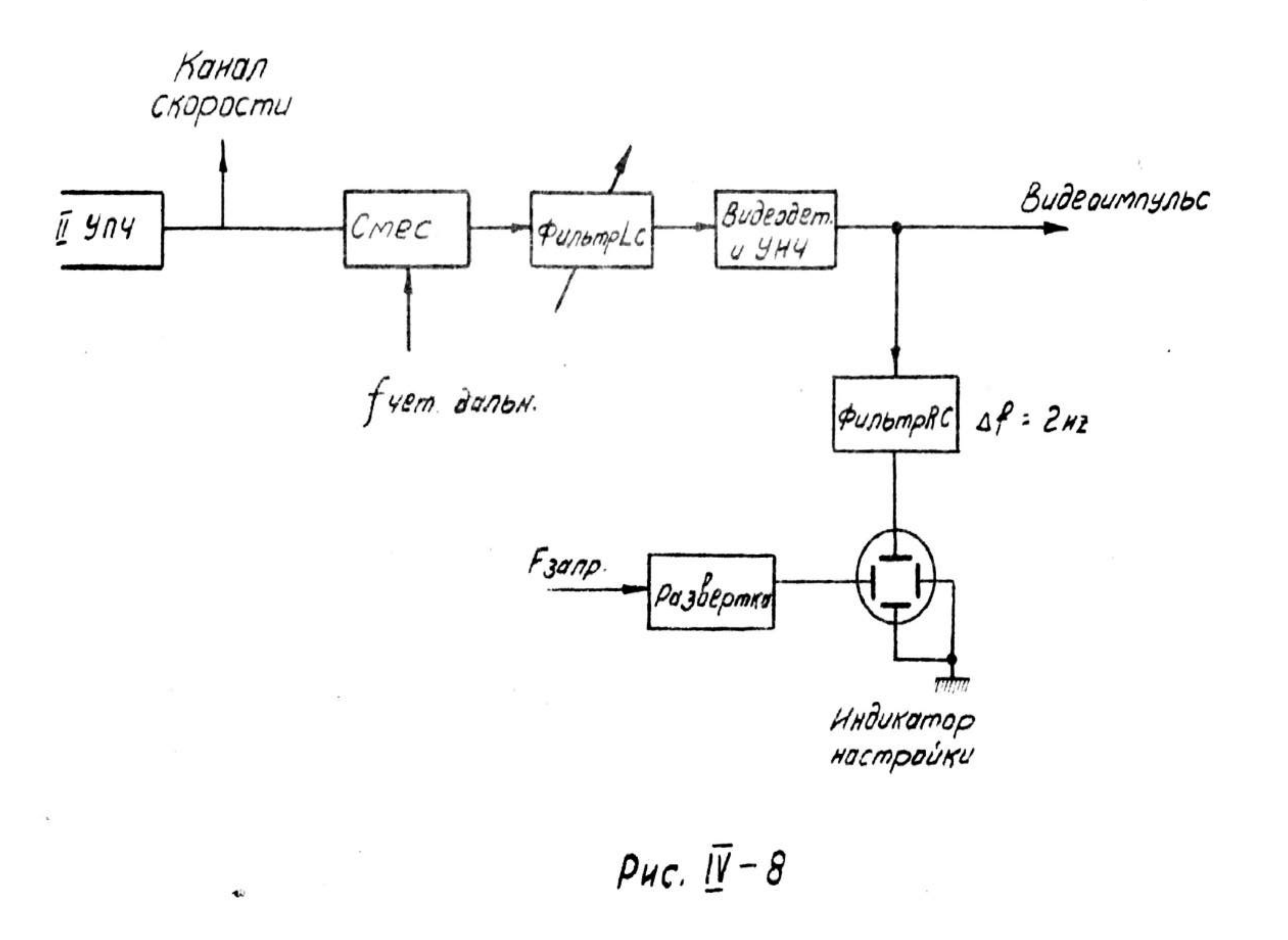
Блок К-362-I

Блок-схема выходного устройства приведена на рис. IV.8.

На выходе смесителя образуется частота 400 кгц, незначительно меняющаяся относительно своего среднего значения вследствие нестабильности бортового генератора и эффекта доплера.

Настройка фильтра $Ф_2$, имеющего полосу $6 \div 8$ кгц, дает возмож-

[redacted]



Канал скорости
II УПЧ
Смес
ФильтрLC
Видеодет. и УНЧ
Видеоимпульс
f чет. дальн.
ФильтрRC
Δf = 2гц
F запр.
Развертка
Индикатор настройки

Рис. IV – 8

ность отслеживать все вариации принимаемой частоты, поскольку диапазон перестройки может быть достаточно велик. В качестве фильтра используется контур с добротностью порядка 80÷50 и переменной емкостью.

Полоса усилителя низкой частоты равна 6 кгц. Это позволяет воспроизводить импульсы с фронтами не менее 200 мксек.

Индикация настройки фильтра Φ_2 осуществляется с помощью узкополосного фильтра RC, имеющего полосу 2 гц и настроенного на частоту 10 гц, т.е. на первую гармонику огибающей сигнала. С выхода фильтра RC напряжение подается на электронно-лучевую трубку, в которой развертка осуществляется опорной частотой 10 гц или пилообразным напряжением с тем же периодом.

Индикаторы дальности позволяют фиксировать положение импульсов во времени при соотношении мощностей сигнала и шума примерно равном 0,5÷1. Мощность шумов на выходе УНЧ, приведенная ко входу, даст величину :

$$P_ш = 4.10^{-21} \cdot 6.10^3 (4 \div 5) = (1 \div 1,2) \cdot 10^{-16} \text{ вт} .$$

Отсюда чувствительность приемника по каналу дальности будет также

$$P_{cur\ min} \cong 10^{-16} \text{ вт}$$

или

$$U_{cur\ min} \cong 7.10^{-8} \text{ в} = 0,07 \text{ мкв} .$$

§ 4. Описание блок-схемы индикаторов дальности

а) Выбор метода индикации дальности

Специфика индикации дальности в системе измерения дальности объекта "Е-I" заключается в необходимости измерения весьма больших расстояний, что влечет за собой как сильное уменьшение мощности принимаемого сигнала, так и усложнение методики индикации.

[redacted]

Время распространения сигналов до изделия и обратно будет превышать 2 сек. Очевидно, что непосредственная индикация запросного и соответствующего ответного сигнала будет весьма затруднена. Малая мощность принимаемого сигнала, имеющего очень небольшое превышение под шумами, приводит к необходимости повышать частоту запроса для более надежной индикации положения импульса во времени. Это, в свою очередь, приводит к неоднозначности отсчета. В связи с этим приходится принимать специальные меры, позволяющие исключить эту неоднозначность. Следует отметить, что чем выше частота повторения запросных импульсов, тем труднее разрешать неоднозначность отсчета, но легче обнаруживать ответный импульс в шумах. Учитывая требования, связанные с наличием импульсной телеметрии, можно найти компромиссное решение , взяв частоту повторения равной IO гц.

При столь низкой частоте повторения с учетом возможной скорости движения объекта "Е-I" наиболее эффективным было бы применение для индикации системы с временем запоминания сигнала IO÷30 сек. Для этой цели вполне подходят некоторые типы потенциалоскопов (графиконы), но они требуют значительного усложнения схемы индикаторного устройства. Было решено применить для индикации электронно-лучевые трубки с послесвечением 3-4 сек. и светофильтром, что позволит значительно снизить мерцание изображения. При частоте запроса IO гц расстояние, соответствующее одному периоду неоднозначности будет составлять $\Delta r = \frac{cT_R}{2} = 15$ тыс км. Это соответствует участку траектории, который объект "Е-I" пролетит приблизительно за I,5 часа. Наибольшая дальность будет, таким образом, измеряться с неоднозначностью, равной U = 25. Несмотря на заведомую возможность разрешения неоднозначности с точностью более высокой чем I,5 часа просто по времени полета, в системе радио-

[redacted]

контроля предусматривается возможность однозначного измерения расстояния от Земли до "Е-1" в любой момент времени при измерении дальности.

Опыт показал, что на трубках с длительным послесвечением можно обнаружить импульс с менее чем однократным превышением над шумами, если ширина импульса будет не менее 0,3÷0,5% от длины развертки. Было обнаружено, что различимость импульса несколько возрастает в случае применения яркостной модуляции луча. Различимость импульса еще более возрастает при введении медленного качания развертки по вертикали, поскольку шумовые разбросы яркости луча вследствие своей некоррелированности дают в этом случае слабо светящийся равномерный фон, на котором отчетливо виден вертикальный, более яркий вследствие накопления, след импульса. Оптимальной частотой вертикального качания развертки, как показал опыт, является 0,2÷0,4 гц.

Как уже отмечалось, частота повторения запросных импульсов выбрана равной 10 гц. Импульс длительностью 200 мксек будет, очевидно, занимать на развертке примерно 0,2% её длины.

Это требует введения многострочной развертки, расчленяющей общий период 100 мсек на несколько строк. Применяя трубки с диаметром экрана 31 см, можно ограничиться двумя строками.

Очевидно, что непосредственный точный отсчет дальности с развертки 100 мсек также весьма затруднен, поскольку точность считывания в 0,4% с помощью электронных меток времени нереальна. Такой точности отсчета можно, очевидно, добиться только с помощью стробирования сигнала и перенесения его на скоростную развертку вместе с близлежащими метками времени.

Еще одна трудность возникает вследствие того, что оператор дальности на развертке будет видеть сразу три импульса, соответ-

[redacted]

ствующих дальности "Земля – Е-I" , "Е-I – Луна" и импульс телеметрии. Необходимо, очевидно, каким-либо способом окрасить нужный импульс. Для этой цели можно использовать паузу в непрерывном излучении бортового генератора, наступающую после приема на борту запросного импульса с Земли. Выделив на полосе примерно 60 гц огибающую принятого на Земле сигнала, можно погасить свечение экрана после ответного импульса "Земля-ракета", отмечая таким способом этот импульс.

Таким образом, схема индикаторов дальности должна предусматривать возможность :

1) разрешения неоднозначности отсчета,

2) двухстрочной развертки с общим Т – 100 мсек,

3) качания развертки по вертикали с f = 0,2÷0,4 гц,

4) создания меток времени на развертке,

5) стробирования сигнала и перенесения его на индикатор точного отсчета,

6) выделения нужного импульса на экране.

б) Блок-схема индикаторов дальности

Блок-схема устройства визуального измерения дальности представлена на рис. IУ.9.

Как видно из блок-схемы, развертка индикатора грубой дальности запускается импульсами, следующими через 50 мсек, которые поступают с блока хронизаторов-делителей. Этот блок делит частоту 100 кгц до частоты 0,5 гц, выдавая попутно импульсы с периодом 200 мксек, 2 мсек, 10 мсек, 50 мсек и 100 мсек.

С помощью частоты 103 кгц разрешается неоднозначность отсчета. При переходе на эту частоту периоды всех импульсов, очевидно, изменяются на 3%. Это значит, что изменяется период запросных импульсов, вызывая тем самым изменение положения ответных импульсов

[redacted]

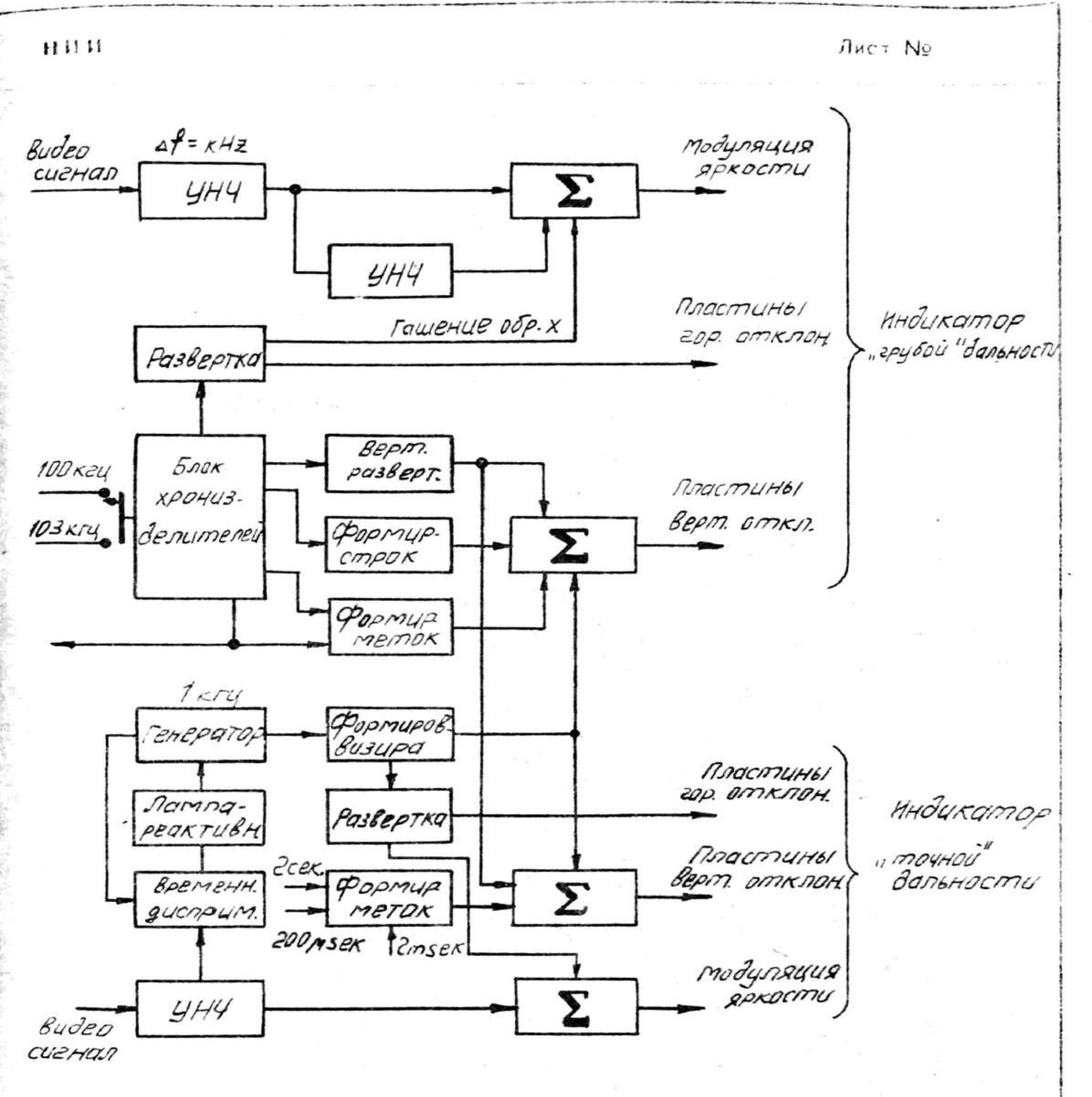

Видео сигнал
Δf = кHz
УНЧ
Σ
Модуляция яркости
УНЧ
Пластины гор. отклон
Гашение обр. x
Развертка
Индикатор „грубой" дальности
Блок хрониз-делителей
100 кгц
103 кгц
Верт. разверт.
Формир-строк
Формир меток
Пластины Верт. откл.
Σ
1 кгц
Генератор
Формиров визира
Лампа-реактивн
Развертка
Пластины гор. отклон.
Индикатор „точной" дальности
Временн. дискрим.
2 сек.
Формир меток
200 μsек
2 msек
Пластины Верт. отклон.
Σ
Модуляция яркости
УНЧ
Σ
Видео сигнал

Рис. IV-9

на развертке. Измеряя смещение импульсов, можно найти полное расстояние до изделия. Оно определится из системы уравнений:

$$R = \frac{1}{2} c(nT_1 + \tau_1),$$

$$R = \frac{1}{2} c(nT_2 + \tau_2),$$

где n – коэффициент неоднозначности, c – скорость света, T_i – период запросных импульсов, τ_i – временное отстояние ответного импульса от начала развертки. Приращение частоты 100 кгц на 3 кгц не изменяет общего числа n, поскольку период запроса составляет более 3% от времени распространения. Так как метки времени на развертке также изменяют свою длину, как и период запроса, величина τ_i будет равна :

$$\tau_i = T_i \frac{m_i}{N},$$

где

N – общее число меток на развертке,

m_i – расстояние ответного импульса от начала развертки, выраженное в числе меток.

Нетрудно показать, что

$$R = \frac{c}{2} \frac{m_1 - m_2}{N(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})} = K(m_1 - m_2); \qquad K = \text{const},$$

причем

$$n = \frac{\tau_2 - \tau_1}{T_1 - T_2} = \frac{1}{N} \frac{m_2T_2 - m_1T_1}{T_1 - T_2}.$$

[redacted]

При N = 50 и при 3% изменении частоты получим :

$$R = (n_1 - n_2)\,10^4 \text{ км}.$$

Таким образом, неоднозначность можно будет разрешать с точностью в 10^4 км, если не допускать ошибок подсчета более чем в одну метку.

Длительности развертки, равной 100 мсек, соответствует расстояние 15000 км, поэтому, измерив запаздывание импульса от начала развертки, мы можем восстановить последние три знака полной дальности, которые не могут быть получены при разрешении неоднозначности.

Как видно из блок-схемы, двухстрочечная развертка получается при подаче на пластины вертикального отклонения напряжения с выхода триггера, управляемого импульсами 50 мсек. На эти же пластины подаются метки в виде импульсов с периодом 2 мсек, причем каждый пятый импульс превышает по амплитуде соседние импульсы, т.е. выделяются интервалы 10 мсек.

Применение трубки с длительным послесвечением позволяет подавать метки только раз в 4 сек. Поскольку генератор напряжения медленных качаний строки по вертикали синхронизируется импульсами 2 сек. и вырабатывает треугольные периодические колебания с периодом в 4 сек, то метки будут существовать только на краю утолщенной строки (рис. IУ.10).

Такой метод формирования меток осуществляется отпиранием селектирующего каскада, пропускающего метки, только после появления импульса 4 сек., который вырабатывается в генераторе треxугольной пилы. Запирание селектирующего каскада происходит ближайшим импульсом 100 мсек, т.е. в конце развертки.

[redacted]

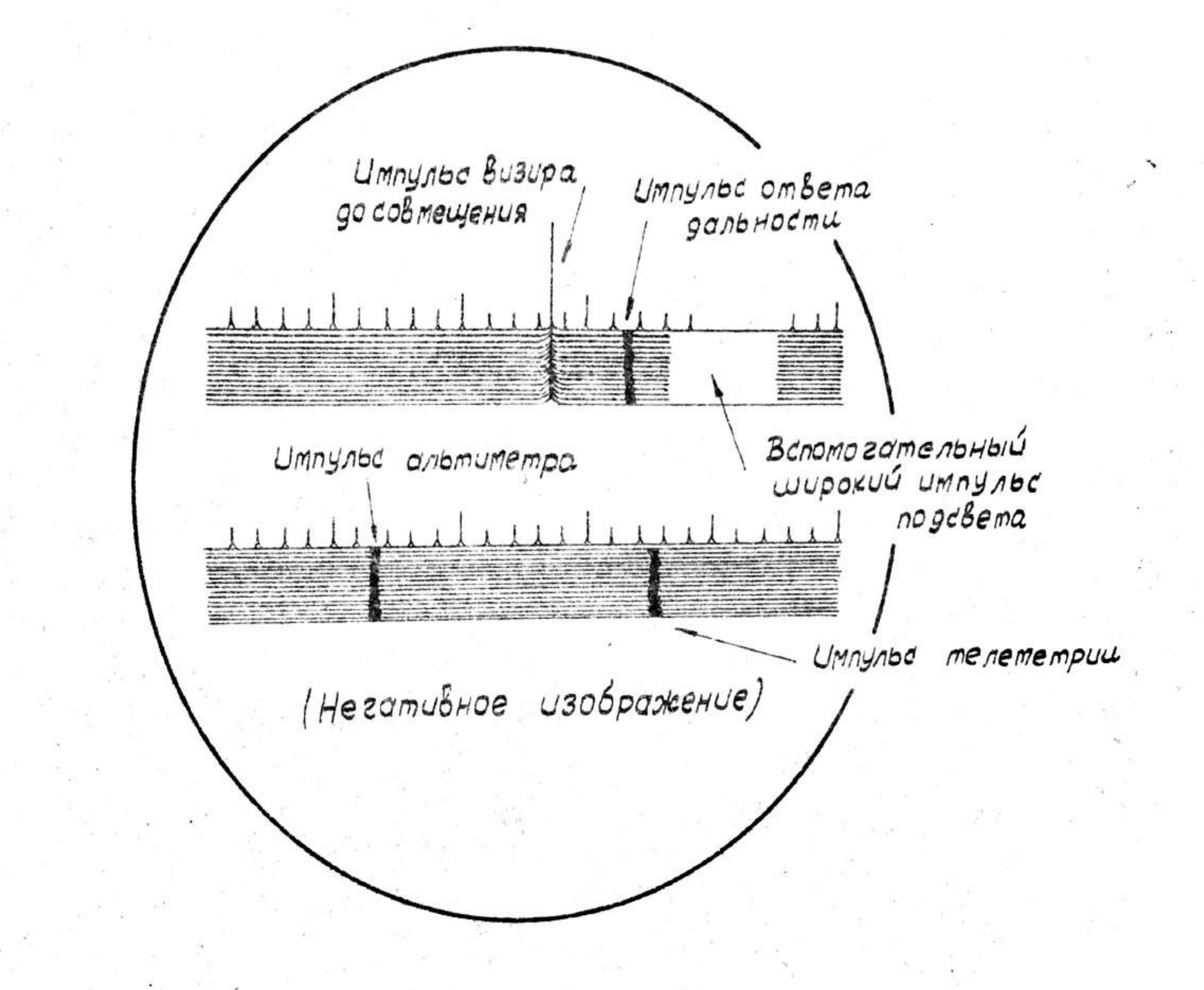

Импульс визира до совмещения
Импульс ответа дальности
Вспомогательный широкий импульс подсвета
Импульс альтиметра
Импульс телеметрии
(Негативное изображение)

Рис. IV-10

Инв. № 015749

Перенесение сигнала на индикатор точного отсчета дальности осуществляется с помощью электронного визира. Визир представляет собой импульс с периодом повторения, в небольших пределах меняющимся вокруг величины 100 мсек. Период повторения задается специальным генератором, который может перестраиваться с помощью лампы реактивности. Импульс визира подается на пластины вертикального отклонения. Изменяя частоту генератора, можно совместить визир с импульсом и, удерживая некоторое время с помощью настройки нужную фазу генератора, можно затем длительное время поддерживать синхронизм частоты повторения импульсов, принимаемых с борта, и частоты генератора. Такой способ дает возможность осуществить полуавтоматическое слежение по дальности. Влияние всякого рода частотных нестабильностей можно достаточно эффективно исключить с помощью автоподстройки генератора визира посредством временного дискриминатора, дающего сигнал ошибки, в некоторых пределах пропорциональный временному сдвигу между импульсом визира и входным импульсом. Следует отметить, что автоматическое слежение за импульсом совершенно необходимо для быстрого отсчета телеметрических данных при автономной работе борта, когда частота повторения опорных импульсов будет задаваться бортовым устройством. Это, однако, не устраняет вмешательства оператора, поскольку он должен визуально выбрать опорный импульс и подвести к нему импульс генератора.

Импульс визира запускает развертку индикатора точной дальности. Длительность развертки равна 2 мсек. Таким образом, при хорошем совмещении визира с импульсом дальности на экране появятся сам импульс дальности, одна из меток 2 мсек и более мелкие метки 200 мксек. Совмещая середину ответного импульса с вспомогательным электронным визиром, отстоящим на I мсек от начала раз-

[redacted]

вертки, можно будет отсчитывать метки 200 мксек от метки 2 мсек до переднего фронта импульса. Очевидно, что метки будут перемещаться по экрану вследствие движения изделия.

Выбор нужного импульса на экране индикатора грубой дальности осуществляется с помощью широкого импульса, поступающего с усилителя с полосой 60 гц. Этот импульс гасит свечение экрана несколько позади импульса дальности "Земля-ракета".

Измерение расстояния "Е-I - Луна" производится следующим образом.

Развертка второго индикатора дальности запускается от импульса визира основного индикатора дальности и второй оператор дальности производит совмещение своего визира с ответным альтиметрическим импульсом. При этом оба визирных импульса подаются на стойку регистрации, где измеряются с такой же точностью, как и измерение дальности "Земля-Е-I". Альтиметрические измерения могут производиться одновременно с измерениями основной дальности.

в) Блок-схема аппаратуры для фиксации отсчетов скорости и дальности

В системе измерения скорости движения и дальности объекта "Е-I" предусматривается ручная фиксация результатов измерения путем считывания с десятичных световых табло.

Подсвечивание табло осуществляется с десятичных счетчиков импульсов. Таким образом, все измеряемые величины должны быть выражены через соответствующее число импульсов.

Преобразование отсчета дальности в набор импульсов осуществляется следующим образом. После того, как оператор дальности совместил визир с соответствующим ответным импульсом, включается схема, пропускающая в интервале между началом развертки и импульсом визира последовательность импульсов с постоянной, строго фик-

[redacted]

сированной частотой повторения. Очевидно, что число прошедших импульсов будет с известной точностью характеризовать искомый временной интервал :

$$\tau = N_g \tau_g ,$$

где

N_g – число прошедших импульсов,

τ_g – период повторения импульсов.

Очевидно, точность измерения будет равна $\approx \sqrt{2}\tau_g$. Соответствующая дальность найдется по формуле

$$R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c\tau_g}{2} N_g = \frac{c}{2f_g} N_g ,$$

где

f_g – частота повторения счетных импульсов.

Взяв частоту $f_g = 15 \cdot 10^3$ гц, мы получим точность измерения времени, равную $\approx$ 100 мксек, и дальность $\approx$ 15 км. При этом

$$R = 10 N_g \text{ км.}$$

Измерение скорости будет производиться следующим образом. Импульсы, сформированные из выходного напряжения канала скорости приемного устройства, поступают на двоичный делитель, который на выходе дает широкий импульс, длительность которого равна 4096 периодам входных импульсов. Очевидно, допплеровская частота будет равна при этом

$$f_{допп} = \frac{4096}{T} ,$$

где T – длительность импульса на выходе делителя.

Измерение T производится с помощью подсчета числа импульсов с частотой повторения F , проходящих через селектирующий кас-

[redacted]

кад, отпираемый импульсом делителя. Очевидно,

$$f_{допп} = \frac{4096}{m} F ,$$

где m – число подсчитанных импульсов.

Скорость изделия при запросе будет определяться формулой

$$V = 2C \frac{f_{допп}}{f_{вх}} ,$$

где $f_{вх}$ – частота на входе приемника.

Очевидно, что

$$f_{вх} = 183,6 f_{опор} + f_{допп},$$

поскольку $f_{опор}$ в приемном устройстве равна 1 Мгц. Отбрасывая $f_{допп}$ в выражении для $f_{вх}$, так как эта величина дает поправку в пятом знаке, получим

$$V = 2C \frac{f_{допп}}{183,6 f_{опор}} .$$

Если сформировать частоту F из частоты $f_{опор}$, то

$$V = 2C \frac{4096 f_{опор}}{m.k\ 183,6 f_{опор}} = \frac{8192}{183,6mk} C ,$$

где

$$K = \frac{f_{опор}}{F} .$$

Взяв $K = 20$, т.е. $F = 50$ кгц, получим :

$$V = \frac{C}{m} \frac{8192}{3672} .$$

[redacted]

Инв. № 015749

Ошибка измерения допплеровской частоты в этом случае будет :

$$df_{\text{допл}} = \sqrt{2}\,\frac{4096}{m^2}\,F dm = \frac{\sqrt{2}}{4096}\,\frac{f^2_{\text{допл}}}{F}\,dm\ .$$

Полагая $dm = I$, получим :

$$df_{\text{допл}} = 0{,}7 \cdot 10^{-8}\, f^2_{\text{допл}}$$

при $f_{\text{допл}} = 4$ кгц ошибка будет равна :

$$df_{\text{допл}} = 0{,}II \text{ гц}$$

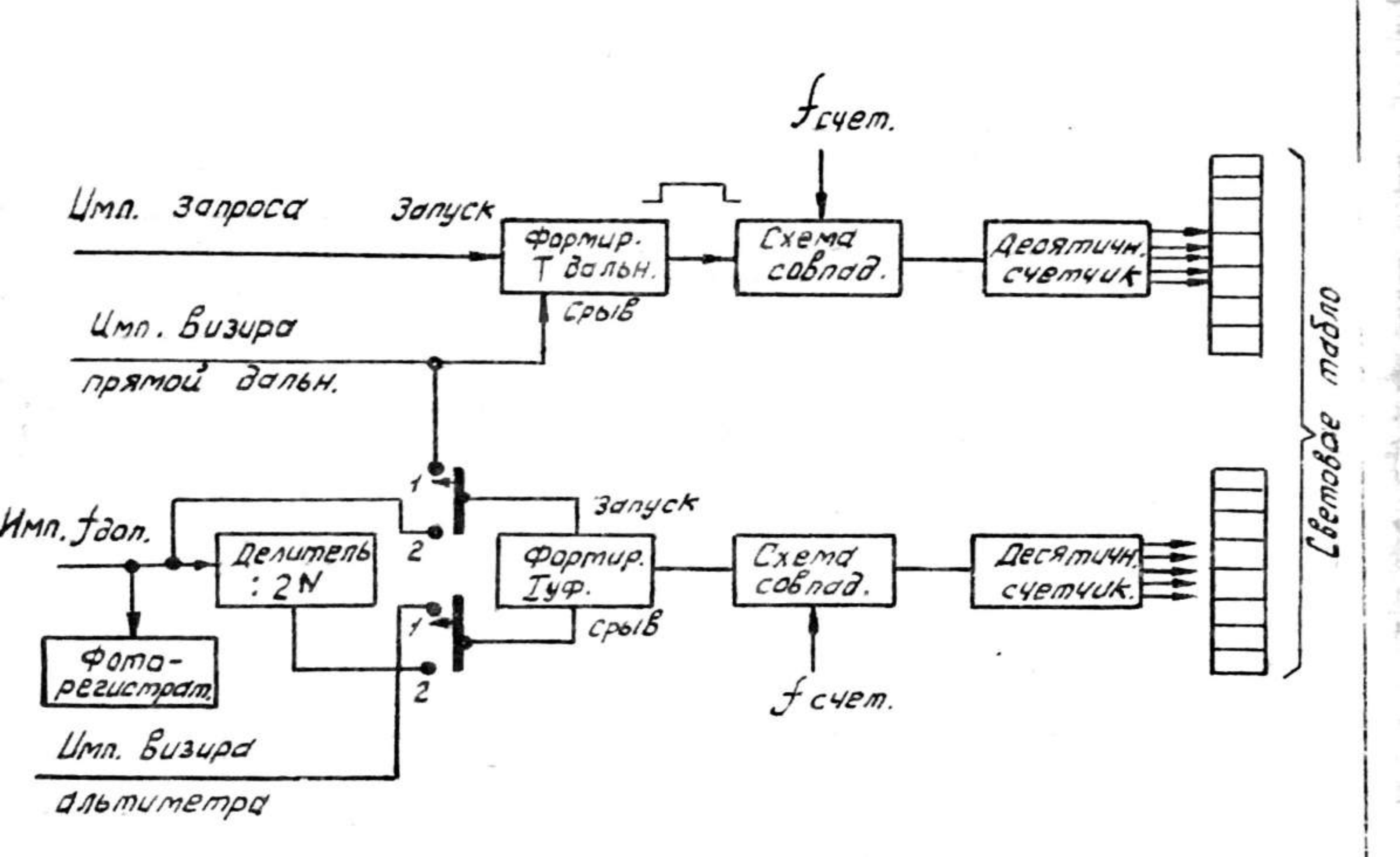
и

$$dV = 0{,}2 \text{ м/сек}\ .$$

Фиксация допплеровской частоты происходит также в фоторегистраторе системы "Вектор".

При измерении расстояния "ракета-Луна" счетчик импульсов переключается на измерение числа импульсов F, проходящих через селекторный каскад за время между импульсом визира прямой дальности и импульсом второго визира, совмещенного с импульсом альтиметра. Блок-схема устройства фиксации результатов отсчета дальности, скорости и альтиметрии приведена на рис. IУ.II.

[redacted]



Положение переключателя
1.– измерение Тальтиметрии
2. – измерение Тскорости.

Рис. IV-11

Глава У

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА МЕСТА И АЗИМУТА

§ 1. Выбор схемы измерений угла

Согласно предварительным техническим требованиям к системе радиоконтроля, измерения угла места и азимута об"екта "Е-1" на пассивном участке должно производиться с ошибкой, не превышающей 10'. Как известно, точность измерения угла прихода радиоволн на метровых волнах от об"ектов, летящих вне пределов земной атмосферы, определяется следующими факторами:

1/ отношением мощности сигнала к мощности шумов на входе приемного устройства;

2/ шириной диаграммы направленности антенны в плоскости измерения угла;

3/ рефракцией радиоволн в тропосфере и ионосфере, а также флюктуациями рефракции;

4/ отражениями от Земли /главным образом, при измерении угла места/.

Рассмотрим вначале влияние на точность измерения углов шумов приемника, ширины диаграммы направленности и Земли, поскольку эти факторы прямым образом зависят от размеров антенных систем. При отношении мощности сигнала P_c к мощности шумов $P_ш$ в УПЧ приемника более 10 вполне достижима, как показывает практика, точность измерения угла примерно в 0,02 ÷ 0,01 от ширины диаграммы направленности антенны по точкам половинной мощности, если по-

[redacted]

лоса пропускания выходного устройства пеленгатора не превышает нескольких герц. Обычно такая точность достигается применением для измерения угла так называемого метода равносигнальной зоны. При сигнале, равном или меньшем уровня шумов, точность измерения существенно падает.

Как показывают расчеты уровня сигнала бортового передатчика, проведенные в главе 1, для получения $(P_c/P_ш)_{УПЧ}>10$, на земле необходимо иметь антенны с эффективной поглощающей поверхностью около 100 $м^2$, что примерно соответствует геометрической площади не менее 200 $м^2$. Такую площадь будут иметь синфазные решетки размером примерно 14 х 14 м или зеркала диаметром около 18 м. Антенны должны вращаться по азимуту примерно на 180° и по углу места от 0 до 40°. Точность вращения должна быть не хуже 2 ÷ 3'.

Ограниченный срок на разработку системы радиоконтроля не позволяет заново спроектировать и изготовить требуемые антенные системы и поворотные устройства. Поэтому целесообразно применить для угломерных измерений антенны, имеющиеся в готовом виде в других организациях. Наиболее подходят для этих целей радиотелескопы Крымской экспедиции ФИАН, общий вид которых показан на рис. 1.2, 1.3.

Антенны представляют собой усеченные параболоиды, поверхность которых выполнена из мелкоячеистой металлической сетки. Антенны установлены на поворотных устройствах, допускающих вращение антенн по азимуту и углу места. Размеры антенн и данные о поворотных устройствах приведены в табл. У.1.

[redacted]

Таблица У.1

	Восточная антенна /рис. 1.2/	Западная антенна /рис. 1.3/
Горизонтальный размер	18 м	21,8 м
Вертикальный размер	8 м	11,6 м
Фокусное расстояние	8 м	8 м
Сектор поворота по азимуту	$\pm 180^0$	$\pm 180^0$
Сектор поворота по углу места	Восток от 5 до 90^0 Юг от 15 до 90^0 Запад от 5 до 90^0	Восток от 30 до 90^0 Юг от 25 до 90^0 Запад от 30 до 90^0
Привод по азимуту	Электромеханический люфт не более 4' $\dot{\alpha} \leq 40 \frac{\text{угл.мин.}}{\text{мин}}$	Возможна установка электромех.привода. Люфт не более 12'
Привод по углу места	Электромеханический люфт не более 4' $\dot{\beta} \leq 30 \frac{\text{угл.мин.}}{\text{мин}}$	Возможна установка электромех.привода. Люфт не более 5'
Датчик углов азимута	Двухшкальная сельсинная передача 360 и 10^0	Двухшкальная сельсинная передача 360 и 20^0
Датчик угла места	Двухшкальная сельсинная передача 90 и 10^0	Двухшкальная сельсинная передача 90 и 20^0

Ориентировочно эффективная поверхность Восточной антенны равна 70 $м^2$, а эффективная поверхность Западной антенны –120 $м^2$. Поскольку Западная антенна имеет вертикальный размер в полтора раза больше, чем Восточная, целесообразно для измерений угла места использовать первую из них.

Ширина диаграммы направленности в вертикальной θ_B и горизонтальной θ_α плоскостях по точкам половинной мощности для обоих антенн будет примерно равна:

Восточная /азимутальная/ антенна $\theta_\alpha \simeq 7^\circ$; $\theta_\beta = 14^\circ$.

Западная /угломестная/ антенна $\theta_\alpha \simeq 6^\circ$; $\theta_\beta \simeq 10^\circ$.

Сравнительно большая направленность западной антенны в вертикальной плоскости /первый нуль примерно в 10° от максимума/ дает возможность существенно ослабить влияние Земли на точность измерений при углах места, превышающих $15 \div 20^\circ$. Оценка влияния Земли на точность измерения при меньших углах требует отдельного рассмотрения.

При измерении углов равносигнальным методом возможно применение как одноканальных схем с коммутацией диаграмм направленности, так и применение различных двухканальных устройств. Чувствительность одноканальных пеленгационных устройств несколько ниже /примерно вдвое/, чем двухканальных, однако к приемным устройствам в первом случае не пред"является каких-либо жестких требований по стабильности амплитудных или фазовых характеристик.

В рассматриваемом конкретном случае целесообразно использовать двухканальную схему, так как, во-первых, из-за напряженной энергетики желательно использовать схемы с максимальной чувствительностью, а, во-вторых, мы не имеем готовой конструкции высокочастотного коммутатора на диапазон метровых волн.

Для ослабления требований к стабильности характеристики двухканального приемника целесообразно использовать так называемую несимметричную мостовую схему /рис. У.1/, работающую следующим образом. Если сигналы, поступающие на входы 1 и 2 кольцевого коаксиального моста от облучателей антенны O_1 и O_2, равны между собой по амплитуде/пеленгуемый об"ект находится в равносигнальной зоне/, то сигнал в плече 3 будет иметь максимальное значение, а сигнал в плече 4 будет равен нулю. При отклонении об"екта в сторону от равносигнальной зоны баланс амплитуд в плечах 1 и 2 будет нару-

[redacted]

НИИ

Лист №

O_2 O_1

$\frac{\pi}{4}$

4

2 1

3

Мум

МА

Пр Уум

ГЛУА

индикатор Аз

Г

АРУ

СД

$ССС_А$

КМ

Рис. V-1

шаться, и в плече 4 появится напряжение, величина которого зависит от угла отклонения об"екта от равносигнальной зоны, а фаза - от стороны отклонения /из-за разной длины плеч моста 1-4 и 2-4/. Сигналы с выходов 3 и 4 подаются на двухканальный приемник и после преобразований и усиления поступают на синхронный детектор /СД/. Опорным напряжением синхронного детектора служит сигнал, поступающий с симметричного выхода 3, величина которого практически не изменяется при малых /в сравнении с шириной диаграммы направленности антенны/ отклонениях цели от равносигнальной плоскости. По этому же сигналу работает АРУ обоих каналов и АПЧ. На выходе синхронного детектора величина выпрямленного напряжения будет пропорциональна величине сигнала на выходе плеча 4, а знак напряжения будет зависеть от фазы. Напряжение с выхода синхронного детектора может дальше использоваться либо как управляющее напряжение и подаваться на вход синхронно-следящей системы /ССС/ прямо или через кольцевой модулятор /КМ/, либо для индикации равносигнального направления при ручном управлении антенной.

На рисунке условно показано, что передача измеряемых углов производится с помощью дистанционной сельсинной передачи угла /СПУА и СПУМ/ на шкалы индикаторов азимута и угла места. Регистрация может производиться одновременным фотографированием показаний индикаторов и хронометров.

Возможны, конечно, и другие схемы индикации и регистрации углов.

На рисунке V.2 условно показано, что каждая из антенн работает в режиме автоматического слежения за об"ектом "Е-1" по измеряемой координате, а по второму углу поворачивается по сигналам программного устройства /Пр.У/. Возможно управление по второму углу от сигналов другой антенны, т.е. каждая из антенн может

[redacted]

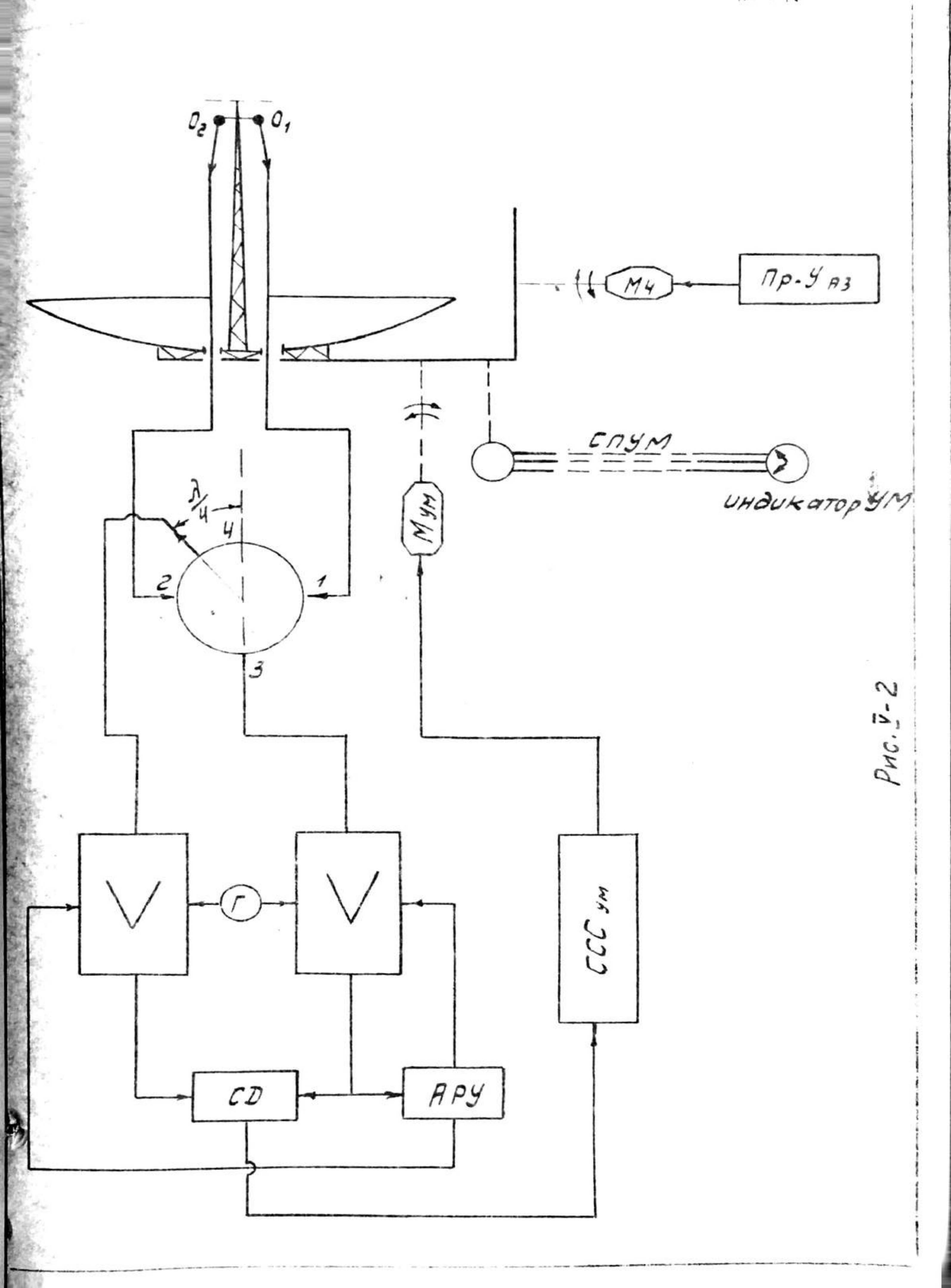


Рис. V-2

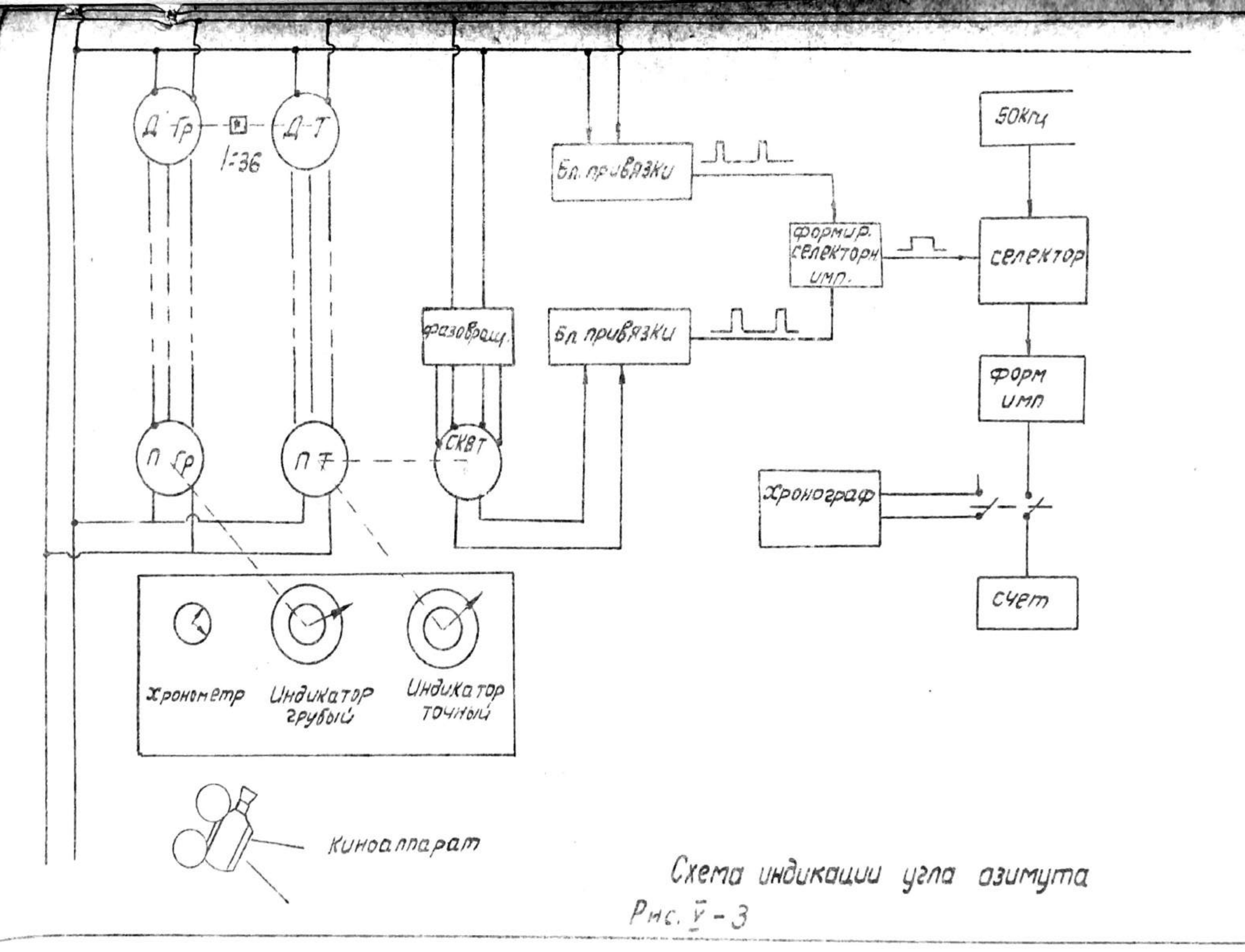


Схема индикации угла азимута

Рис. V-3

работать в режиме автосопровождения по двум углам. Последняя схема управления антеннами предпочтительнее, так как не требует разработки специальных программных устройств. Для точного измерения углов целесообразно предусмотреть возможность выключения автосопровождения и ручную установку равносигнальной плоскости в заданное направление по данным угломерных инструментов, расположенных непосредственно на антеннах.

§ 2. Расчет точности измерения углов

Определим ошибку в измерении углов из-за внутренних шумов приемного устройства. При этом мы будем исходить из того, что в канале опорного сигнала имеет место соотношение $\frac{P_c}{P_ш} \geqslant 10$. На максимальной дальности плотность потока энергии у Земли от бортового передатчика, работающего в непрерывном режиме, будет примерно равна

$$P_o \simeq 1,4 \cdot 10^{-18} \text{ вт/м}^2 \qquad (V.1)$$

При эффективной площади антенны 70 $м^2$ /Восточная - азимутальная антенна/ мощность принятого сигнала будет равна

$$P_{c_\alpha} \quad 10^{-16} \text{ вт}, \qquad (V.2)$$

а для Западной /угломестной/ антенны с эффективной площадью 120 $м^2$

$$P_{c_B} = 1,7 \cdot 10^{-16} \text{ вт}. \qquad (V.3)$$

При шумфакторе наземного приемника $n \approx 5$ мощность шума на 1 гц полосы пропускания будет равна

$$P_{ш_o} = nkT \simeq 5.4 \cdot 10^{-21} = 2 \cdot 10^{-20} \ \frac{\text{вт}}{\text{гц}} . \qquad (V.4)$$

Из /2/ и /4/ найдем допустимую ширину полосы пропускания УПЧ $\Delta f_п$ до синхронного детектора, если максимально допустимое отношение

[redacted]

$$\frac{P_c}{P_ш} = \frac{P_c}{P_{ш_o}\,\Delta f_п} \geqslant 10 .$$

Тогда

$$\Delta f_п \leqslant \frac{P_c}{10\,P_{ш_o}} \approx \frac{10^{-16}}{2 \cdot 10^{-20}} \simeq 500 . \qquad (V.5)$$

Такую сравнительно узкую полосу в приемнике можно получить только применяя двойное преобразование частоты и раздельные каналы для усиления импульсных сигналов с полосой $\Delta f_{пи} \simeq /6 \div 9/.10^3$ гц и для усиления непрерывных сигналов с результирующей полосой не более 500 гц. Подстройку частоты гетеродина приемника для компенсации нестабильности и допплеровского смещения частоты бортового передатчика в этом случае можно будет производить по индикаторам широкополосного выхода.

При смещении цели от равносигнального направления на угол $\Delta\theta$ разность напряжений сигналов, поступающих на входы 1 и 2 будет равна

$$E_1 - E_2 = 2E_o \frac{\partial E}{\partial \theta} \Delta\theta . \qquad (V.6)$$

где

E_o – напряжение сигнала в точке пересечения диаграмм направленности,

$\frac{\partial E}{\partial \theta}$ – крутизна нормированной диаграммы направленности антенны в точке пересечения.

[redacted]

Для параболических зеркал при пересечении диаграммы направленности примерно на уровне половинной мощности

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} \approx \frac{1}{\theta_{0,5}} , \qquad (V.7)$$

где

$\theta_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности по точкам половинной мощности.

Для уверенной фиксации равносигнального положения напряжение на выходе синхронного детектора от разности $E_1 - E_2$ должно превышать среднеквадратичное значение флюктуаций выходного напряжения из-за шумов. В первом приближении должно выполняться следующее неравенство

$$\frac{E_1 - E_2}{2E_0} \geqslant \sqrt{\frac{2P_ш}{P_c}} \sqrt{\frac{2\,\Delta F_{вых}}{\Delta f_п}} , \qquad (V.8)$$

где

$\frac{P_ш}{P_c}$ – отношение мощности сигнала к мощности шумов в УПЧ канала опорного напряжения,

$\Delta F_{вых}$ – ширина полосы пропускания на выходе синхронного детектора.

Используя /6/, /7/ и /8/, можно определить $\Delta\theta_{мин}$ – ошибку в определении угла из-за шумов приемного устройства

$$\Delta\theta_{мин} \approx \theta_{0,5} \sqrt{\frac{P_ш \; 4\Delta F_{вых}}{P_o \; S_{эф.}}} . \qquad (V.9)$$

[redacted]

Для Восточной антенны ошибка в измерении азимута будет примерно равна

$$\Delta\theta_{\text{мин}\,\alpha} \approx 7^{\circ}\sqrt{\frac{1{,}2\;10^{-20}\;4\,\Delta F_{\text{вых}}}{5\cdot10^{-19}\;70}} \approx 0{,}25^{\circ}\sqrt{\Delta F_{\text{вых}}}\,.$$

(V.10)

Для Западной антенны ошибка в измерении угла места будет примерно равна

$$\Delta\theta_{\text{мин}\,B} \approx 10^{\circ}\sqrt{\frac{1{,}2\cdot10^{-20}\;4\,\Delta F_{\text{вых}}}{5\cdot10^{-19}\;125}} \approx 0{,}3^{\circ}\sqrt{\Delta F_{\text{вых}}}\,.$$

(V.11)

Очевидно, что при выходной полосе пропускания меньше 0,1 гц можно получить требуемые точности определения углов /табл.У.2/.

Таблица У.2

$\Delta F_{\text{вых}}$ (гц)	1	0,5	0,1	0,01
$\Delta\theta_{\text{мин}\,\alpha}$	15'	10'	5'	1,5'
$\Delta\theta_{\text{мин}\,B}$	18'	12'	5'	2'

Определим теперь ошибку в измерении угла места из-за влияния Земли. Допустим, что наличие отражений от Земли создает на выходе 4 кольцевого моста разность напряжений $E_1 - E_2 = E_3$. Наличие этой разности равносильно возникновению угловой ошибки

$$\Delta\theta_3 = \theta_{0,5}\,\frac{E_3}{2E_0}\,. \qquad (V.12)$$

[redacted]

Заметим, что $E_з$ не равно величине сигнала, отраженного от Земли, а равно разности отраженных сигналов, принятых верхним и нижним облучателем. Обычно эта разность сигналов на порядок меньше уровня отраженных сигналов. Если допустить, что уровень боковиков не будет превышать 0,1 от максимума диаграммы направленности по мощности, то следует ожидать, что $E_з \approx 0,03$. Тогда при $\theta_к \simeq 10^0$

$$\Delta\theta_з \simeq 10^0 \cdot \frac{0,03}{2 \cdot 0,7} \simeq 0,1^0 = 6'. \qquad (V.13)$$

В настоящем эскизном проекте не представляется возможным из-за сложности вопроса произвести подробную оценку влияния земной атмосферы на точность измерения углов. Известно, однако, что влияние тропосферной рефракции для углов места больше 10^0 может быть с высокой точностью рассчитано по имеющимся таблицам поправок на вертикальную рефракцию. При углах места, больших 10^0, внесение поправок только на регулярную рефракцию /без учета флюктуаций/ может обеспечить точность измерения не хуже 10''.

Учет иносферной рефракции /как вертикальной, так и горизонтальной/ по имеющимся литературным данным может быть произведен с точностью 1 ÷ 5' /например, по наблюдению наземных источников/.

Определим суммарную погрешность измерений угла $\Delta\theta$, считая, что ошибки, влияющие на точность являются независимыми

$$\Delta\theta \simeq \sqrt{\Delta\theta_{мин}^2 + \Delta\theta_з^2 + \Delta\theta_р^2 + \Delta\theta_л^2}, \qquad (V.14)$$

где

$\Delta\theta_{мин}$ - ошибка из-за внутренних шумов приемного устройства,

$\Delta\theta_з$ - ошибка из-за отражении от Земли,

$\Delta\theta_р$ - ошибка из-за рефракции,

$\Delta\theta_л$ - люфт поворотного устройства /ошибка проводов/.

[redacted]

Инв. №015749

При времени усреднения порядка 10 сек. измерение углов азимута на Восточной антенне Крымской экспедиции ФИАН может быть осуществлено с ошибкой порядка

$$\Delta\Theta_{a} \approx \sqrt{\Delta\theta^2_{мин} + \Delta\theta^2_{р} + \Delta\theta^2_{л}} \approx \sqrt{5^2 + 5^2 + 4^2} = 8' , \qquad (V.15)$$

а измерение углов места на Западной антенне с ошибкой порядка

$$\Delta\theta_{В} \approx \sqrt{\theta^2_{мин} + \Delta\theta^2_{з} + \Delta\theta^2_{р} + \Delta\theta^2_{л}} \approx$$

$$\approx \sqrt{6^2 + 6^2 + 5^2 + 5^2} \approx 12' . \qquad (V.16)$$

Как уже упоминалось выше, измерение углов может производиться либо в режиме автоматического слежения за об"ектом на сравнительно протяжнных участках траектории, либо в дискретных точках по определению момента прохождения об"екта через равносигнальную плоскость, которая устанавливается под определенными углами. В последнем случае точность измерения углов может быть повышена в первую очередь за счет исключения люфтов поворотных устройств. Для окончательного решения о точности того или иного метода измерения и о стабильности равносигнальной плоскости в пространстве необходимо произвести облет имеющихся в Крымской экспедиции антенн радиолетескопов.

[redacted]

Нами не рассматриваются интерференционные методы измерения углов с помощью разнесения антенн. Хотя эти методы могут дать несколько лучшие точности измерения одного, для раскрытия неоднозначности потребуется либо устройство нескольких баз для измерения одного угла, либо совмещение интерференционных методов с прямыми, описанными выше. При ограниченном количестве антенн с большой эффективной поверхностью такое совмещение может быть сделано только при сокращении об"ема измерений углов, требуемого от системы радиоконтроля.

§ 3. Наземное приемное устройство измерения угловых координат

а/ Назначение и технические требования

Наземное приемное устройство измерения угловых координат предназначено для работы в системе измерения угловых координат изделия, а также должно служить для дублирования приемника системы измерения дальности и телеметрии.

Согласно техническим требованиям прибор должен представлять собой двухканальное приемное устройство, предназначенное для приема непрерывных и импульсных сигналов. Рабочая частота 183,6 Мгц. Минимальная мощность непрерывного сигнала на входе приемника -10^{-16} вт, минимальная мощность в импульсе 10^{-15} вт. Длительность импульса $\tau_и$ = 200 мксек, скважность – 250 ÷ 500.

Сигнал на выходе приемника должен представлять собой синусоидальное напряжение частоты f = 500 гц. Амплитуда его должна быть пропорциональная амплитуде сигнала на входе второго канала, а фаза должна определяться фазой этого сигнала /относительно сигнала на входе опорного канала/.

[redacted]

В соответствии с этим на выходе приемника должен быть установлен синхронный детектор, опорным напряжением для которого служит непрерывный сигнал одного из каналов, и кольцевой модулятор, преобразующий постоянное напряжение синхронного детектора в переменное частоты 500 гц.

Кроме того, для измерения дальности и приема телеметрических сигналов из опорного канала должен быть предусмотрен выход на импульсный детектор и видеоусилитель.

Шумфактор приемника не должен превышать трех.

Полоса пропускания приемника для импульсного сигнала должна быть выбрана из условия наилучшего визуального обнаружения импульсов на индикаторе в присутствии шумов. Полоса пропускания для непрерывного сигнала должна обеспечивать достаточное /не менее 5 ÷ 10 по мощности/ превышение сигнала над шумами на входе синхронного детектора.

В приемнике должна быть предусмотрена ручная регулировка усиления /общая для обоих каналов/.

Автоматическая регулировка усиления приемника должна работать по напряжению опорного канала и обеспечивать поддержание постоянства напряжения на выходе с точностью ± 10% при изменении сигнала на входе приемника на 50 дб.

Приемник должен также обеспечить измерение напряженности поля на входе /по напряжению АРУ/. Кроме того, для начальной юстировки системы должна быть предусмотрена возможность индикации фазового сдвига между сигналами обоих каналов на входе синхронного детектора.

[redacted]

Инв. №015749

б/ Описание блок-схемы и выбор основных параметров приемного устройства

Как указывалось выше, для измерения угловых координат изделия приемное устройство должно иметь два канала. Для обеспечения идентичности фазовых и амплитудных характеристик оба канала строятся по одинаковым схемам и используют общие гетеродины.

Начальная юстировка фазы осуществляется с помощью фазовращателя в обоих каналах. Сигналы с выходов этих каналов подаются через фазовращатели на синхронный амплитудно-фазовый детектор. Кольцевой модулятор преобразует сигнал на выходе синхронного детектора в напряжение частоты 500 гц. Амплитуда и фаза этого напряжения определяются величиной и фазой сигнала на входе второго канала.

Блок-схема приемного устройства приведена на рис. У.4.

Для обеспечения низкого уровня флюктуационных шумов каждый из каналов приемного устройства должен иметь УВЧ. УВЧ предполагается выполнить в виде двух каскадов, собранных по схеме "заземленный катод- заземленная сетка". Эта схема обеспечивает минимальный фактор шума и достаточно большое усиление при высокой стабильности работы.

Для обеспечения нормальной величины изображения на экране индикаторной трубки требуется подать на пластины напряжение порядка $U_n = 200$ в. Следовательно, общий коэффициент усиления приемника по высокой и промежуточной частотам должен быть равен

$$K_{max} = \frac{U_H}{U_{cmin}} = \frac{200}{7.10^{-8}} \cong 3.10^{9}.$$

Коэффициент усиления УВЧ вместе с преселектором можно принять равным $K_{УВЧ} = 30 \div 40$. Таким образом, коэффициент усиления УПЧ должен быть порядка $K_{УПЧ} = 10^{8}$. Устойчивая работа приемника при

[redacted]

Дет.
ВУ
УВЧ
СМ I
УПЧ I
СМ II
УПЧ II
УПЧ III
Фазовращатель
АРУ
Квар. генератор
Умножитель
Гетеродин
АПЧ
Синхрон. детектор
Кольцевой модулятор
На следящ. систему
Г
УВЧ
СМ I
УПЧ I
СМ II
УПЧ II
УПЧ III
Фазовращатель

Рис. V-4

этом может быть обеспечена использованием двойного преобразования по частоте.

Первая промежуточная частота f_{n1} выбирается из условия удовлетворения требованиям необходимой селективности приемника по отношению к зеркальному каналу. Принимая величину ослабления сигнала по зеркальному каналу порядка 5÷7 дб, получим $f_{n1} \approx 5$ Мгц /см. ниже/.

Для обеспечения высокой стабильности частоты первого гетеродина необходимо использовать схему на кварце. В настоящее время в серийном производстве освоены кварцевые резонаторы на частоты до 20 ÷ 30 Мгц. Вследствие этого в схеме гетеродина предполагается использовать кварц на частоту порядка 16 Мгц с последующим умножением частоты. Умножение /в 12 раз/ можно осуществить с помощью 2 каскадов.

Требуемая точность измерения угловых координат может быть получена лишь при достаточно большом отношении сигнал/шум на входе синхронного детектора /не менее 10÷15 дб/. Это может быть достигнуто при полосе пропускания порядка нескольких стот герц, обеспечиваемого кварцевым фильтром. Стабильный прием сигнала при такой полосе возможен лишь при наличии АПЧ.

Автоматическую подстройку целесообразно осуществить на второй промежуточной частоте с использованием кварцевого дискриминатора.

Для вхождения в связь предусматривается возможность ручной подстройки частоты второго гетеродина, после чего включается схема АПЧ.

Полоса пропускания первого УПЧ при фиксированной частоте первого гетеродина должна быть достаточно широкой для того, чтобы сигнал проходил без ослабления.

[redacted]

Предполагается полосу сделать равной $f_{n1} \cong 200$ кгц.

Полоса пропускания второго УПЧ выбирается из условия наилучшего визуального обнаружения импульсов сигнала на экране индикатора при наличии собственных шумов приемника. При длительности импульсов $\tau_и \cong 200$ мксек, $\Delta f_{n2} = \frac{1,3}{\tau_и} = 6,5$ кгц.

Обеспечить такую полосу пропускания можно на частоте порядка нескольких сотен кгц. Для импульсного сигнала достаточно одного каскада усиления по второй промежуточной частоте; с выхода этого усилителя сигнал подается на второй детектор. Непрерывный сигнал усиливается одним каскадом /узкополосным/ третьего УПЧ и поступает через фазовращатель на амплитудно-фазовый детектор. Дополнительное усиление непрерывного сигнала для подачи на электронно-лучевую трубку обеспечивается специальным усилителем /представляющим собой каскад УПЧ/. АРУ приемника должна работать по непрерывному сигналу опорного канала. Для обеспечений требований к постоянству выходного напряжения достаточно охватить АРУ два каскада УПЧ.

в/ Расчет основных узлов приемника

Расчет УВЧ и УПЧ

Оба канала приемника идентичны, поэтому ниже приводится расчет только одного канала /опорного/.

Усилитель высокой частоты предполагается выполнить по схеме "заземленный катод - заземленная сетка". В первом каскаде УВЧ рационально применить высокочастотный триод 6С3П, обладающий наименьшим шумовым сопротивлением /$R_{ш} = 200$ ом/ и высокой крутизной характеристики / $S = 19,5$ ма/в/.

Второй каскад УВЧ следует выполнить на триоде 6С2П, специально разработанном для работы в схеме с заземленной сеткой.

[redacted]

В качестве лампы первого смесителя также следует применить триод, так как триодные смесители имеют меньший фактор шума, чем пентодные, что позволяет обойтись меньшим усилием в усилителе высокой частоты. Берем для первого смесителя триод 6С2П.

Коэффициент усиления УВЧ определяется как $K_{УВЧ} = S_1 R_{н2}$,

где S_1 - крутизна характеристики первой лампы УВЧ,

$R_{н2}$ - эквивалентное сопротивление нагрузки второго каскада УВЧ на резонансной частоте.

Величина $R_{н2}$ образуется из параллельного соединения резонансного сопротивления контура второго каскада и входного сопротивления смесителя.

Резонансное сопротивление контура равно

$$R_{рез} = \frac{Q}{\omega_0 C},$$

где Q - добротность контура,

C - емкость контура.

Задавшись $Q = 100$, $C = 30$ пф, получим $R_{рез} = 3$ ком.

Входное сопротивление смесителя равно удвоенному входному сопротивлению этой же лампы в режиме усиления. Для лампы 6С2П на частоте 183 мгц входное сопротивление равно примерно 1 ком.

Тогда

$$R_{см} = 2\,R_{вх} = 2 \text{ ком}.$$

Сопротивление нагрузки равно

$$R_{н2} = \frac{R_{рез}\, R_{см}}{R_{рез} + R_{см}} \simeq 1{,}2 \text{ ком}.$$

Коэффициент усиления УВЧ

$$K_{УВЧ} = 19.10^{-3} \,.\, 1{,}2 \,.10^{3} \cong 23.$$

[redacted]

Инв. № 015749

Полоса пропускания УВЧ определяется в основном контуром в цепи сетки смесителя, так как контур в первом каскаде сильно шунтируется входным сопротивлением второй лампы. Тогда

$$\Delta f_{УВЧ} = \frac{1}{2\pi R_{н2} C} \cong 4,5 \text{ Мгц}.$$

Ослабление сигнала по зеркальному каналу определится как

$$M_{з.к} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4f_{п1}}{\Delta f_{УВЧ}}}} = 0,22,$$

что соответствует ослаблению сигнала по мощности на 13 дб.

Входной контур УВЧ рационально выполнить по автотрансформаторной схеме как наиболее простой и позволяющей легко осуществить согласование антенны со входом приемника.

Оптимальное / с точки зрения фактора шума/ соотношение между входным сопротивлением лампы $R_{вх}$ и пересчитанным на вход сопротивлением антенны R'_a определяется из выражения

$$\left(\frac{R_{вх}}{R'_a}\right)_{опт} = \sqrt{\frac{R_{вх}}{R_ш}}.$$

Взяв $R_{вх} = 1$ ком и $R_ш = 200$ ом, получим

$$\left(\frac{R_{вх}}{R'_a}\right)_{опт} \cong 2,2.$$

Минимальный фактор шума УВЧ будет равен

$$N_{ш\,УВЧ} = 1 + \frac{R'_a}{R_{вх}} + \left(1 + \frac{R_{вх}}{R'_a}\right)\frac{R_ш R'_a}{R^2_{вх}} = 2,4.$$

[redacted]

Коэффициент передачи входного контура определяется формулой

$$K_{\text{вх}} = \frac{\sqrt{g_a' \, g_{\text{вх}}}}{g_a' + g_k + g_{\text{вх}}},$$

где g_a – выходная проводимость антенны,

$$g_{\text{вх}} = \frac{1}{R_{\text{вх}}}$$

$$g_a' = \frac{1}{R_a'}$$

$g_k = \frac{1}{R_k}$ – резонансная проводимость входного контура.

Подставив в это выражение значения проводимостей, получим

$$K_{\text{вх}} \approx 1,4 .$$

Формула для коэффициента усиления первого смесителя имеет вид

$$K_{\text{см I}} = S_{\text{пр}} \frac{R_{\text{рез}} \, R_i}{R_{\text{рез}} + R_i} = S_{\text{пр}} R_{\text{э}},$$

где $S_{\text{пр}}$ – крутизна преобразования, равная

$$S_{\text{пр}} = 0,28 \, S ,$$

R_i – внутреннее сопротивление лампы смесителя,

$R_{\text{рез}}$ – резонансное сопротивление контура смесителя.

Для лампы 6С2П

$$S_{\text{пр}} = 3,5 \text{ ма/в},$$

$$R_i \cong 14 \text{ ком}$$

и $$R_{\text{э}} \cong 11 \text{ ком}.$$

Резонансное сопротивление контура при $Q = 100$ и $C=50$ пф равно 60 ком.

Тогда $K_{смI} \cong 40$.

Полоса пропускания первого смесителя определяется как

$$\Delta f_{смI} = \frac{1}{2\pi R_э C} \approx 3 \cdot 10^5 \text{ гц} .$$

Первый усилитель промежуточной частоты представляет собой один каскад, выполненный на лампе 6Ж1П. Полосу пропускания его берем также равной 300 кгц. Тогда резонансное сопротивление нагрузки этого каскада при $C = 50$ пф должно быть также равно 11 ком. Коэффициент усиления УПЧ = 1 равен

$$K_{упчI} = SR_{рез} = 5.10^{-3}.11.10^3 = 55 .$$

Общая полоса пропускания смесителя и УПЧ=1 равна

$$\Delta f_{общ} = 0{,}64.300.10^3 = 192 \text{ кгц.}$$

Суммарная полоса пропускания второго смесителя и второго усилителя промежуточной частоты должна быть равной 6,5 кгц. Второй усилитель промежуточной частоты также представляет собой один каскад на лампе 6Ж1П. Тогда полоса пропускания каждого контура на второй промежуточной частоте должна быть равной

$$\Delta f_2 \cong 10 \text{ кгц.}$$

Резонансное сопротивление каждого контура при $C = 500$ пф

$$R_{рез} = \frac{1}{2\pi \; \Delta f_2 C} \cong 30 \text{ ком} .$$

Коэффициент усиления смесителя, выполненного на лампе 6Ж2П, равен

$$K_{смII} = S_{пр} R_{рез} \cong 1{,}0.10^{-3}.30.10^{+3} = 30.$$

[redacted]

Коэффициент усиления второго УПЧ равен

$$K_{упч II} = SR_{рез} = 5.10^{-3}.3.10^{4} = 150.$$

Общий коэффициент усиления всей высокочастотной части приемника до импульсного детектора равен

$$K_{общ} = K_{вх}\,K_{УВЧ}\,K_{смI}\,K_{упчI}\,K_{смII}\,K_{упч\,II} =$$
$$= 1{,}4.23.40.55.30.150 = 320.10^{6}.$$

Таким образом, требование по коэффициенту усиления выполняется; с помощью ручной регулировки усиление приемника может быть снижено до нужной величины.

Мощность шума приемника в полосе пропускания второго УПЧ равна

$$P_{шд} = kTN_{ш}\,\Delta f_{упч\,II} = 4.10^{-21}.2{,}4.6{,}5.10^{3} =$$
$$= 6{,}2.10^{-17}\ вт.$$

Отношение сигнал/шум для импульсного сигнала на входе второго детектора равно

$$\frac{P_{си}}{P_{шд}} \simeq 16.$$

Во втором каскаде второго УПЧ предполагается использовать кварцевый фильтр с полосой пропускания порядка 200 гц. При этом мощность шума на выходе УПЧ /на входе синхронного детектора/ будет равна

$$P_{шсд} = kTN_{ш}\,\Delta f_{упч\,III} = 4.10^{-21}.2{,}4.200 \simeq 2.10^{-18}\ вт.$$

[redacted]

Инв. № 015749

Отношение сигнал/шум на входе синхронного детектора по непрерывному сигналу

$$\frac{P_{сн}}{P_{ш\,сд}} \cong 50 .$$

Расчет АРУ

В соответствии с техническими требованиями, пред"являемыми к приемнику, сигнал на выходе приемника по величине должен изменяться не более, чем на ± 10% от номинального значения при перепаде мощности сигнала на входе на 30 дб. Для выполнения этих требований достаточно иметь два регулируемых каскада УПЧ.

Таким образом, имеем:

$$m = \left(\frac{U_{c\,max}}{U_{c\,min}}\right)_{вх} \cong 30 .$$

$$p = \left(\frac{U_{max}}{U_{min}}\right)_{вых} \leq 1{,}1 .$$

Следовательно, отношение максимального коэффициента усиления к минимальному

$$\frac{K_{max}}{K_{min}} = \frac{m}{p} = \frac{30}{1{,}1} = 27 .$$

В обоих регулируемых каскадах предполагается использовать лампы типа 6Ж1П. Зависимость S и S^2 от величины смещения E_g для этой лампы приведена в табл. У.3.

[redacted]

Таблица У.3

E_g [в]	-5	-4	-3,5	3	-2,5	2	-1,5	-1
$S\left[\frac{ма}{в}\right]$	0,4	1	1,75	2,75	3,75	4,8	5,9	6,8
$S^2\left[\frac{ма}{в^2}\right]$	0,16	1	3,1	7,7	14	23,2	35	46,4

Будем считать начальное смещение равным $E_{go} = -1в$, причем будем предполагать, что в регулируемых каскадах используется фиксированное смещение. Тогда

$$S^2_{max} \cong 46 (при\ -1в),$$

$$S^2_{min} = \frac{S^2_{max}}{\frac{n}{p}} = \frac{46}{27} = 1,7 .$$

Берем $E_{gm} = -3,9$ в., т.е. $\Delta E_g = E_{gm} - E_{go} = 2,9$ в.

Считая детекторную характеристику диода АРУ линейно-ломаной с крутизной $S_g = 1$, будем иметь

$$\Delta E_p = U_c (p - 1) ,$$

т.е. на выходе детектора АРУ минимальная величина сигнала при отсутствии задержки должна быть равна

$$U_c = \frac{\Delta E_g}{p - 1} = \frac{2,9}{0,1} = 29\ в .$$

Принимая коэффициент передачи детектора АРУ $K_{АРУ} = 1$, получим минимальную величину сигнала на выходе второго УПЧ /на входе детектора АРУ/ равной $U_{c\ min} = 30$ в.

[redacted]

Напряжение задержки АРУ $U_{зад} = 29$ в.

Расчет системы АПЧ

Блок-схема АПЧ показана на рис. У.5.

Схема АПЧ должна обладать следующими данным: рабочая частота $f_p = 200$ кгц; при общей нестабильности частота сигнала и второго детектора, $\Delta f = \pm 10$ кгц, должна обеспечивать стабильность частоты на выходе АПЧ Ш $\delta f_o = \pm 10$ гц.

Так как

$$\delta f_o = \frac{\Delta f}{K} = \frac{\Delta f}{1 + S_д S_y} \cong \frac{f}{S_д S_y},$$

где $S_д$ и S_y - крутизна дискриминатора и управляющего элемента соответственно, то необходимо иметь

$$S_д\, S_y = 10^3 .$$

В схеме используется дискриминатор на расстроенных контурах с применением кварцевых фильтров для обеспечения высокой стабильности выходной частоты.

Кварцевые фильтры стоят в сеточных цепях ламп дискриминатора, в анодных цепях имеются относительно широкополосные фильтры. Крутизна дискриминатора определяется по формуле

$$S_д = \frac{2SZ_o\, K_д\, \mathcal{E}\, U_o}{4\mathcal{E}^2 + \Delta f_o^2},$$

где - S - крутизна характеристик ламп дискриминатора,

Z_o - резонансное сопротивление анодного контура,

$K_д$ - коэффициент передачи детекторов,

[redacted]

U_o - напряжение на выходе УПЧ Ш,

ε - расстройка кварцев от средней частоты,

Δf_o - полоса кварцевых фильтров.

Для величин

$S = 5$ ма/в,

$Z_o = 3.10^4$ ом / $Q = 20$ /,

$K_{д} = 0,9$,

$\varepsilon = 400$ гц,

$U_o = 20$ в,

$\Delta f_o = 200$ гц

получим $S_{д} = 3.10^{+3}$ в/кгц.

Для крутизны характеристики управляющего элемента, представляющего собой реактивную лампу, подключенную к контуру гетеродина, имеет следующую формулу:

$$S_y = \frac{0,7\ f_p\ U_c\ S_o^2}{I_s\ I_k},$$

где U_c - напряжение /переменное/ на сетке лампы,

S_o - средняя крутизна реактивной лампы,

$\frac{1}{2} I_в$ - нулевой ток лампы,

I_k - ток в контуре стабилизируемого генератора.

Для $U_c = 0,5$ в,

$S_o = 5$ ма/в,

$\frac{1}{2} I_s = 20$ ма,

$I_k = 50$ ма / $U_a = 30$ в/

получим

$S_y = 20$ кгц/в.

[redacted]

Таким образом, получается, что коэффициент регулирования

$$K = S_o S_y = 6.10^4.$$

вполне обеспечивает заданную стабильность.

При выбранных значениях параметров реактивная лампа позволяет изменить частоту гетеродина в пределах нескольких сотен килогерц.

Амплитудно-фазовый детектор

Амплитудно-фазовый детектор может быть выполнен по схеме, приведенной на рис. У.6.

Сигналы на выходах обоих каналов приемника представляют собой синусоиды одной и той же частоты, причем сигнал одного из каналов является опорным, имеет большую амплитуду и постоянную фазу; сигнал другого канала нормально равен нулю и становится отличным от нуля при отклонении об"екта от линии равносигнальной зоны пеленгатора. Фаза последнего сигнала будет либо равна фазе опорного напряжения, либо отличаться на 180^o, в зависимости от того, в какую сторону отклонился об"ект. Благодаря такой специфике сигналов детектор работает в синхронном режиме. На входе синхронного детектора имеются два сигнала

$$U_c = \pm U_{co} \sin\omega t \text{ ,}$$

$$U_{on} = U_{ono} \sin\omega t \text{ .}$$

Посредством линейного преобразования на вход одного диода подается сумма сигналов U_c и U_{on} на вход другого - разность. В зависимости от этого на общей нагрузке диодов мы получим либо положительное, либо отрицательное напряжение, величина которого пропорциональна U_c. При $U_c = 0$ напряжение на выходе $U_{вых} = 0$.

[redacted]

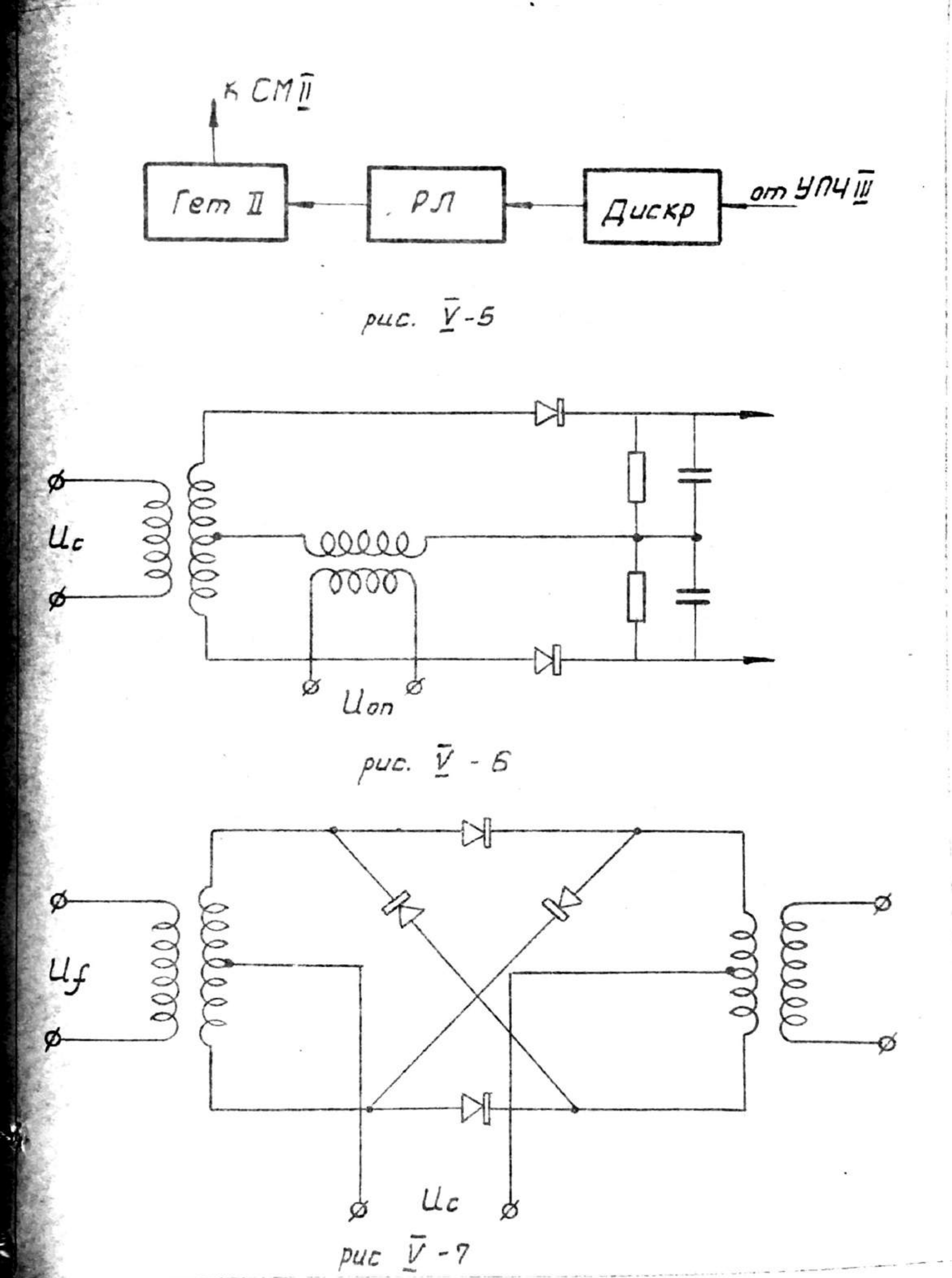


рис. V-5

рис. V-6

рис V-7

Инв. № 015749

Расчет кольцевого модулятора

Преобразование напряжения на выходе амплитудно-фазового детектора в переменное напряжение частоты 500 гц предполагается осуществить с помощью кольцевого модулятора, схема которого приведена на рис. V.7.

Будем считать вольтамперную характеристику диодов схемы линейно-ломаной. Тогда

$$i(t) = \gamma \frac{U + |U|}{2} .$$

Ток в первичной обмотке выходного трансформотора $Тр_2$ можно представить в виде x/

$$i(t) = \gamma \left[\left| U_f(t) + U_c(t) \right| - \left| - U_f(t) + U_c(t) \right| \right] .$$

График $i(t)$ изображен на рис. У.6.

Ввиду того, что $U_{cmax} \ll U_{fmax}$ функцию $i(t)$ можно представить в виде

$$i(t) = f(t) \cos \Omega_c t ,$$

где $f(t)$ представляет собой периодическую последовательность импульсов с амплитудой U_{cm} и скважностью, равной двум:

$$f(t) = \frac{4U_{cm}}{\pi} \sum_{q=0}^{\infty} \frac{\sin(2q+1)\omega_f t}{2q+1} .$$

---

x/ Коэффициенты трансформации $Тр_1$ и $Тр_2$ примем равными единице

[redacted]

Инв. № 015749

Фильтр на выходе модулятора, настроенный на частоту $\omega_г$ выдает компоненты, определяемые выражением:

$$U_{c\,вых}(t) = \frac{8\gamma U_{cm}}{\pi} \sin\omega_г t \cos\Omega_c t .$$

В частности, при $\Omega_c = 0$, т.е. когда сигнал представляет собой постоянное напряжение, получим

$$U_{вых\,o} = \frac{8\gamma}{\pi} U_{cm} \sin\omega_г t .$$

Если использовать в качестве диодов германиевые диоды типа Д9Ж, обладающие достаточно большим сопротивлением обратному току, то для них

$$U_{вых\,o} = 0{,}03\, U_{cm} \sin\omega_г t .$$

§ 4. Устройство регистрации угловых координат

Угловые координаты изделия определяются по углу поворота автоследящих антенных устройств. Для повышения точности применяется двухшкальный метод измерения. Блок-схема устройства приведена на рис. У.3.

С осью вращения антенны измерения азимута связаны два сельсина-датчика. Первый сельсин выдает грубое значение угла в пределах поворота антенны на 360°. Второй сельсин соединяется с осью вращения антенн через редуктор с передаточным числом 1:36 и служит для точного измерения азимута в пределах 10° поворота антенны.

[redacted]

Инв. № 015749

Сельсины-датчики соединены со своими сельсинами-приемниками, которые установлены в стойке измерения угловых координат. Шкалы обоих сельсинов-приемников совместно с цифреблатом хронометра фотографируются киноаппаратом.

Кроме визуального отсчета по шкале,измерение значения точного угла поворота антенны производится с помощью устройства дискретного счета. С осью точного сельсина-приемника связан ротор синус-косинусного вращающегося трансформатора. Статорные обмотки его питаются двумя напряжениями частоты 500 гц, сдвинутыми по фазе на 90°. Фаза напряжения частоты 500 гц на выходной обмотке СКВТ зависит от угла поворота ротора, следовательно, от значения азимута об"екта.

Выходное напряжение СКВТ поступает в блок привязки, где происходит формирование последовательности импульсов, точно привязанных к нулям синусоидального напряжения. Во втором блоке привязки формируется последовательность импульсов, привязанных к нулям опорного напряжения 500 гц. Далее обе эти последовательности служат для образования селекторных импульсов, длительность которых пропорциональна фазовому сдвигу между опорным напряжением и выходным напряжением СКВТ.

Селекторные импульсы открывают каскад совпадения, тем самым пропуская на его выход измерительные импульсы с частотой повторения 50 кгц, поступающие из блока формирования измерительных импульсов. Количество прошедших измерительных импульсов подсчитывается с помощью пересчетной схемы, которая подключается к выходу каскада совпадения в тот момент, когда нужно произвести замер.

Для точной фиксации момента времени замера служит хронограф, включаемый одновременно с пересчетной схемой.

Аналогичное устройство используется и для определения угла места, только в этом случае грубый сельсин выдает значение угла в пределах 90° поворота антенны.

[redacted]

Инв. № 015749

Глава У1

ВЫБОР МЕСТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПУНКТА

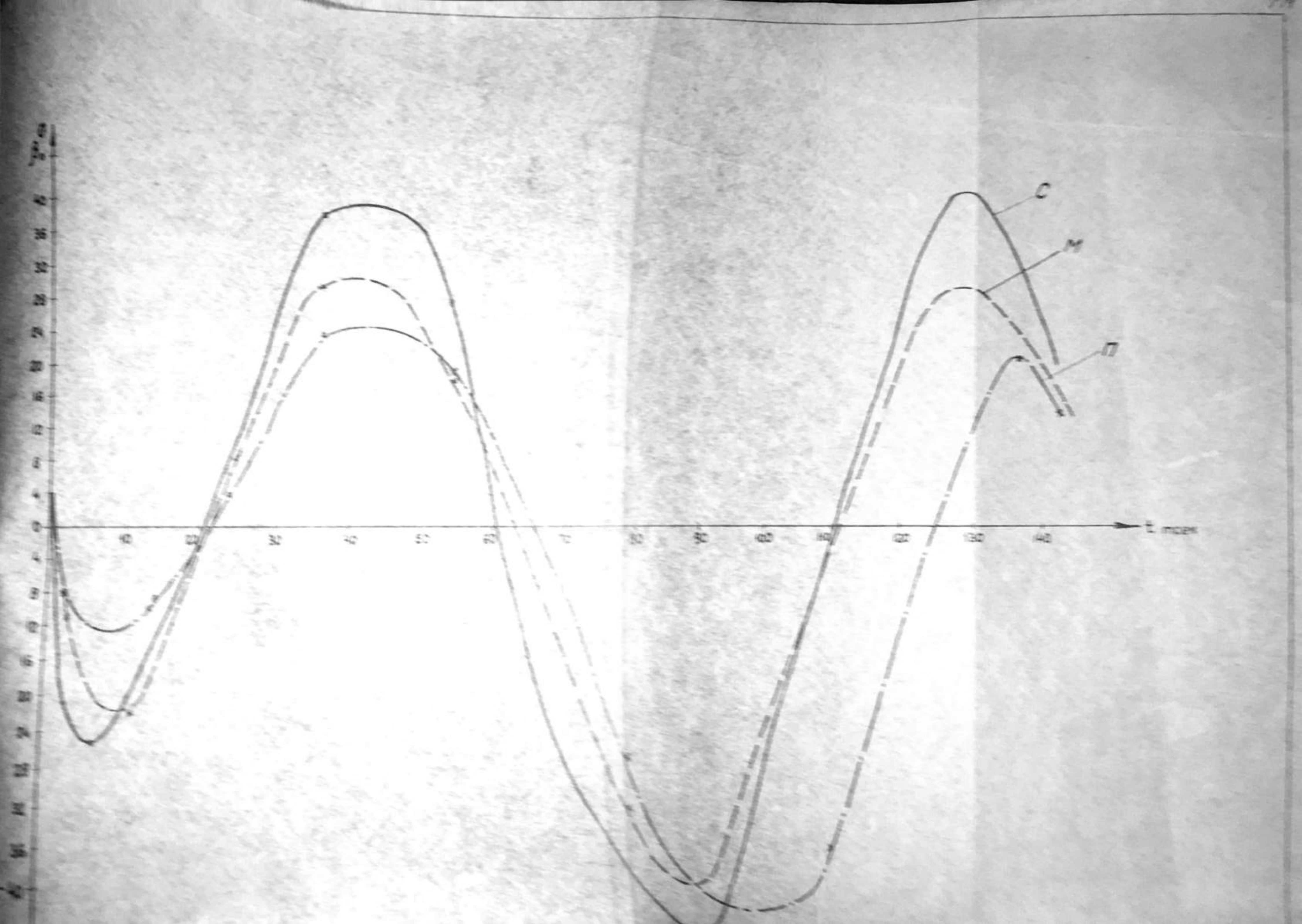
§ 1. Выбор места расположения ИП

Попадающие траектории с превышением начальной скорости над параболической Δv = 100÷200 м/сек имеют время полета приблизительно 1,5 суток. При этом для любой точки территории СССР на широтах $\varphi_г < 65^о$ об"ект "Е-1" будет подниматься над горизонтом два раза за время полета. Существенным требованием к размещению измерительных пунктов системы радиоконтроля является достаточная величина углов возвышения об"екта "Е-1" над горизонтом. Требование обеспечить астрономическое наблюдение за полетом об"екта "Е-1" к Луне в конце пассивного участка приводит к необходимости пуска ракеты в такое время года, когда наибольшие углы места, под которыми об"ект "Е-1" будет виден над горизонтом, имеют минимальное значение для пунктов, расположенных в Северном полушарии.

На рис. У1.1 приведены кривые зависимости угла места об"екта "Е-1" от времени для трех пунктов: Крым, Москва, Пулково.

Наиболее удобными для наблюдения среднего и конечного участков траектории будут измерительные пункты, расположенные на юге европейской части СССР. Реальная возможность использования с некоторыми переделками готовых радиоастрономических антенных устройств физического института АН в районе г.Симеиза /Крым/ дает основание разместить там измерительный пункт. В этом случае радиосредствами будут контролироваться три участка пассивной части траек-

[redacted]


С
М
П
40
36
32
28
24
20
16
12
8
4
0
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
t

Инв. № 015749

тории: начало – по данным системы радиоуправления, середина – 120 ÷ 200 тыс.км и конец 320÷400 тыс.км поизмерениям системы радиоконтроля.

Разбивка пунктов в районе г.Симеиза в основном определяется дисклокацией стационарных антенных устройств КЭ ФИАН. Аппаратуру измерения угловых координат предполагается разместить в районе поселка Кацевели в непосредственной близости от параболоидных антенн.

Аппаратуру измерения дальности, скорости и телеметрии, антенны для которых создаются на базе поворотных устройств типа "Большой Вюрцбург" и SCR-627, будут размещены на горе Кошка на расстоянии 5 ÷ 6 км от угломерного пункта. Приемно-регистрирующую часть наземной аппаратуры предполагается монтировать стационарно в специально оборудованных помещениях. Передающие устройства размещаются в кузовах КУНГ-1, смонтированных на шасси автомашины ЗИЛ-151 /рис. У1.2 и У1.3/.

§ 2. Требования к предварительной настройке частот независимых генераторов системы контроля

Чтобы точность измерения дальности не ухудшалась из-за неточности номинального значения частоты эталонного генератора, используемого в регистрирующем устройстве, необходимо иметь возможность устанавливать и контролировать этот номинал перед работой с точностью $/1 \div 3/ \cdot 10^{-6}$. Это может быть осуществлено или при помощи специальной радиолинии, связывающей эталонный генератор ИП с первичным эталоном частоты достаточной стабильности, или установкой такого эталона вблизи ИП.

Для надежного вхождения в связь при запросе дальности излучаемая бортовым генератором частота должна всегда находиться в пределах полосы настройки наземного приемника. Это требует уста-

[redacted]

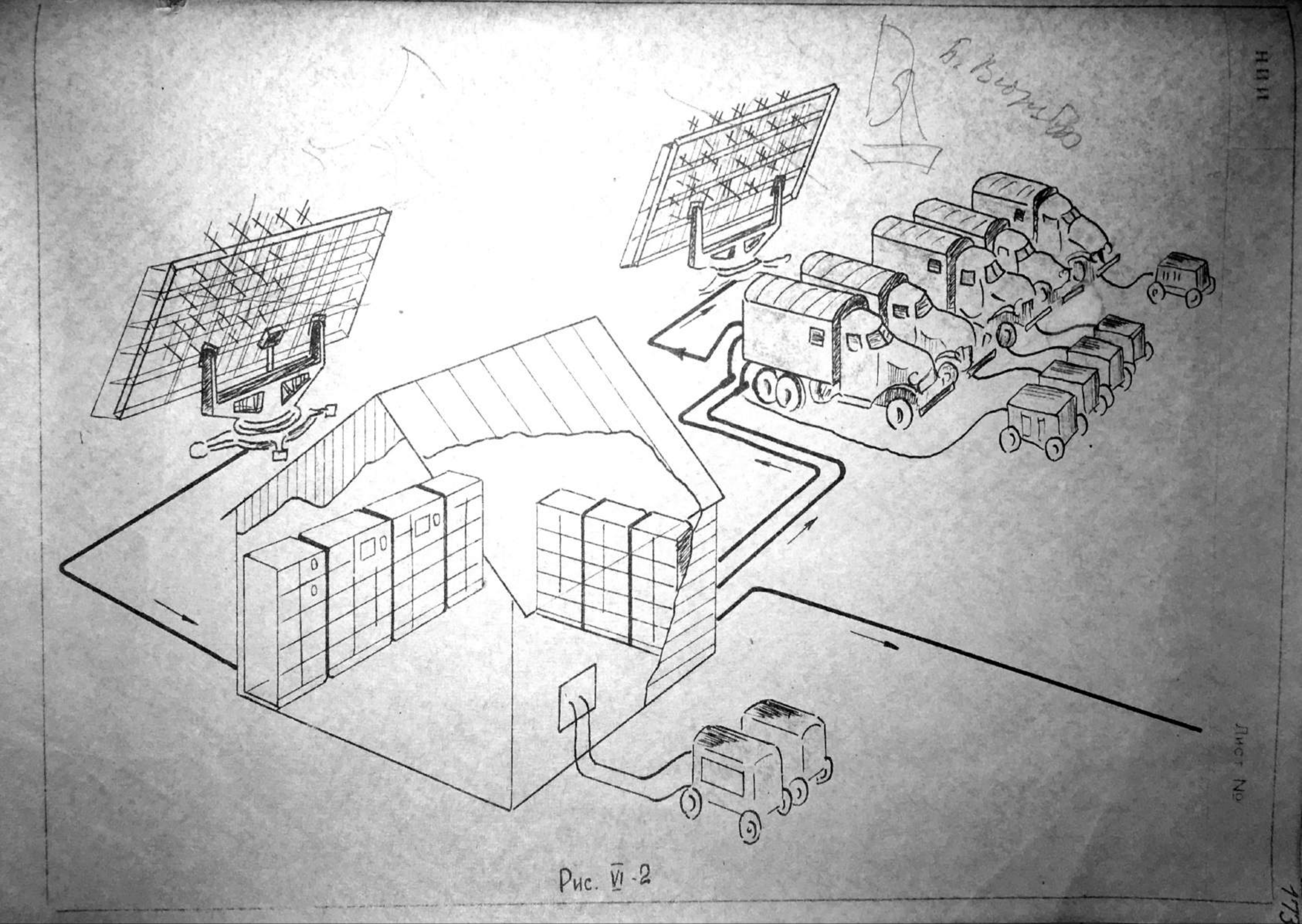


Рис. VI-2

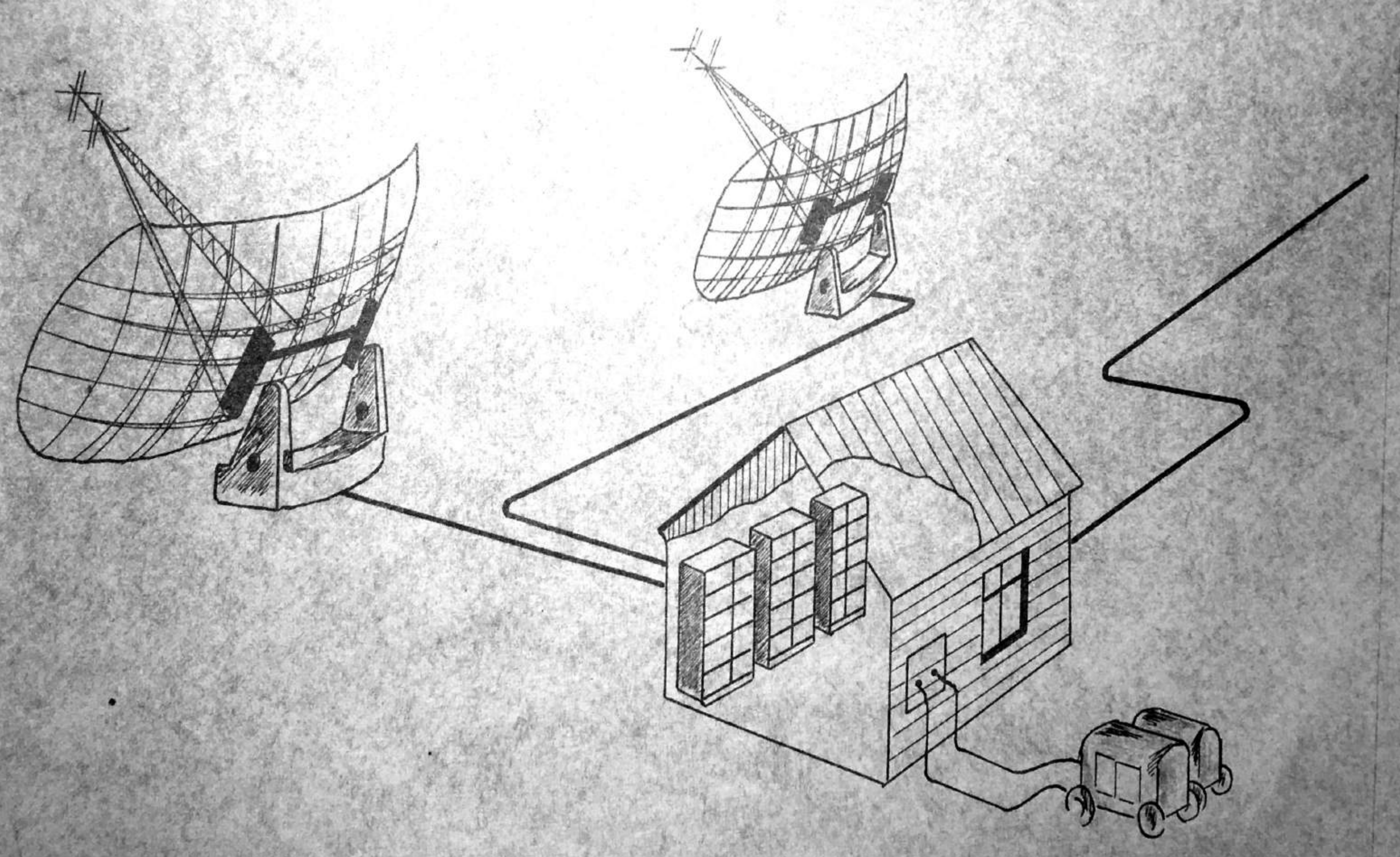


Рис. VI-3

новки частоты бортового генератора перед пуском ракеты с точностью 5.10^{-5} относительно середины полосы настройки приемного устройства.

Надежная синхронизация бортового генератора рекуррентной частоты при запросе дальности, а также возможность уверенных телеметрических и альтиметрических измерений в беззапросном режиме требуют установки номинала частоты этого бортового релаксационного генератора с точностью 10^{-2} относительно середины полосы перестройки генератора системы автоматического измерения дальности.

§ 3. Организация работы ИП

Как было показано выше, измеряемые параметры движения об"екта "Е-1" регистрируются специальными устройствами. Отсчеты дальности, скорости и расстояние от об"екта до Луны с соответствующей точностью фиксируются в цифровой форме вместе с моментом времени отсчета для быстрого считывания и передачи на вычислительный центр, находящийся в Москве. Наиболее простым видом передачи данных со скоростью 1 отсчет в 1 минуту может быть голосовая передача по телефону. При протяженных измерениях параметров движения по траектории количество информации, поступающей с такой скоростью, будет достаточно, чтобы загрузить имеющуюся вычислительную машину. Для надежной работы линии телефонной связи, очевидно, должны иметь несколько независимых каналов. Кроме этого, линия дальней связи должна иметь дополнительные каналы для служебных переговоров. Введением этого канала удается избежать необходимости иметь прямую линию связи ИП системы радиоконтроля с пунктами размещения системы радиоуправления, откуда должны поступать сообщения о характере движения на активном участке и о моменте начала пассивного участка траектории. По вспомогательным каналам должны передавать-

[redacted]

ся сигналы системы единого времени, по которым устанавливаются хронографы ИП.

На самом измерительном пункте необходима внутренняя служебная телефонная связь между различными частями измерительного комплекса: системой измерения дальности и скорости, системой регистрации сигналов телеметрии, системой измерения угловых координат, системой силового питания, устройствами приводов вращения антенн, автомашинами передающих устройств и др.

§ 4. Привязка измерений к точному времени

Время является основным параметром движения об"екта "Е-1" на всем протяжении траектории. Для фиксации различных моментов времени движения представляется удобным использовать систему звездного времени. Необходимая точность привязки измеряемых параметров движения к времени, очевидно, определяется скоростью их изменения, а также реализуемой точностью измерения на различных участках траектории.

Наиболее быстро изменяющимся параметром движения об"екта "Е-1" является дальность. На тех участках выбранной траектории, где предполагается работа системы радиоконтроля, скорость изменения дальности будет иметь величину 2 ÷ 3 км/сек. Исходя из того, что точность измерения дальности на пассивном участке траектории об"екта "Е-1" при выбранных и обоснованных выше параметрах радиолинии не будет выше 6 ÷ 10 км, можно считать вполне достаточной точность снятия отсчетов дальности во времени ~ 1 сек.

Точность привязки к времени измерений радиальной скорости, азимута и угла места может быть еще более низкой, так как эти параметры движения изменяются значительно медленнее, чем дальность.

[redacted]

В рассматриваемой системе радиоконтроля параметров движения об"екта "Е-1" привязка измерения параметров движения к времени осуществляется тем, что при каждом отсчете момент времени, соответствующий его началу, фиксируется на ленте хронографа.

[redacted]

ЛИТЕРАТУРА

1. М.П.Долуханов. "Распространение радиоволн", М,1951.

2. И.С.Шкловский. "Космическое радиоизлучение", ГИТТЛ, М, 1956 г.

3. М.М. Кобрин и др. "Радиоэхо от Луны на волне 10 см". Радиоэлектроника № 6, 1955 г.

4. В.С.Троицкий. "Радиоизлучение Луны и природа ее поверхности". Труды 5-го совещания по вопросам космогонии, ИАН СССР, 1956 г.

5. I.C. Browne ,J.V. Evans. и др .
"Radio Echoes from the Moon"
Proc.Phys. Soc. ,v.69 ,part 9 ,Sept. 1956 .

6. J.V. Evans. "The Scattering of Radio Waves by the Moon"
Proc.Phys.Soc.,v.70,part 12 ,Dec.1957.

7. N.Gerson . Journ. Atm. Terr. Phys. ,
v.5, N 1 , 1954 .

8. А.В.Беклемишев. "Меры и единицы физических величин". ГИТТЛ, М, 1954 г.

9. Handbook of Chemistry and Physics .
Chemical Rubber Publishing C°. New York, 1956.

10. "Исследование влияния атмосферы на показания радиолокационных и радионавигационных систем". Под ред. С.Э.Хайкина. БНТ, № 5, МВО СССР, М, 1951, сс , инв. № 1250-14.

[redacted]

Инв. № 015749

11. Отчет № 447 ЦНИИ-108 МО СССР по теме "Звезда", 1955г.

12. К.И.Грингауз. "О пргрешностях, вносимых ионосферой в радиолокацию высоколетящих об"ектов". Труды ХШ научно-технической конференции /декабрь 1948 г./, сс.

13. С.М.Рытов. Отчет ФИАН СССР о работе по теме № 21 за 1954 г., сс.

14. Технический отчет НИИ-885 по зак. 57, 1957., сс, инв. № 5255.

15. Отчет НИИ-885 по зак. 46 за 1958 г., сс, инв. № 5708

16. J.V. Evans . "The Electron Content of the Jonosphere" Journ. Atm. Terr . Phys., vol. 11 ,1957 ,pp. 259 to 271.

Отп. 1 экз.
на кальке
Исп. Лаппо
[redacted]. № [redacted]
[redacted]. № № 1401[redacted],1333[redacted],1436[redacted],
1323[redacted],1285[redacted],1180[redacted],1245[redacted],1261[redacted],
1437[redacted],149[redacted],1309[redacted],1528[redacted],1531[redacted],
1554[redacted]
30/У-58 г. [redacted].

НИИ-885

наименование организации (предприятия)

Пронумеровано листов Сто семьдесят девять

Вид материала	[redacted]	[redacted]	Несекретно
Текст	133		
Чертежи и рисунки	1	—	45 [illegible] 7. 10. 12. 17. 18. 26. 34. 39. 47. 49. 54. 55. 57. 58. 60. 61. 64. 68. 70. 77. 82. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 99. 106. 107. 115. 117. 119. 121. 126. 129. 135. 140. 142. 143. 159. 166. 171. 173. 174
Фотоснимки в том числе	—	—	5
Всего листов	134	—	45

Ответственный за оформление

сдано на ренотрадио 5 экз

Дата и год

5/VI 58 г.

подпись

Пронумеровано, прошнуровано
Сто семьдесят девять листов и скреплено
179 сургучной печатью
Инспектор 1-го отдела
10 VI 1958 г.

179 листов 16 V 59

24 XI 58 г.